

## **Mémoire**

présenté par

**Naïs Pétrini**

Master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement

Mention ERM

Spécialité « De l'Agronomie à l'Agroécologie »

## **Mise au point d'outils pour l'optimisation et l'évaluation des systèmes de culture innovants adaptés aux nouveaux hybrides de bananiers**

Pour l'obtention du diplôme de Master Sciences et Technologies du Vivant et de l'Environnement

Enseignant responsable du stage : Jean Roger Estrade

Maître de stage : Marc Dorel

Soutenu le 1<sup>er</sup> Octobre 2013



## Engagement de non plagiat

### ① Principes

- Le plagiat se définit comme l'action d'un individu qui présente comme sien ce qu'il a pris à autrui.
- Le plagiat de tout ou parties de documents existants constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée
- Le plagiat concerne entre autres : des phrases, une partie d'un document, des données, des tableaux, des graphiques, des images et illustrations.
- Le plagiat se situe plus particulièrement à deux niveaux : Ne pas citer la provenance du texte que l'on utilise, ce qui revient à le faire passer pour sien de manière passive. Recopier quasi intégralement un texte ou une partie de texte, sans véritable contribution personnelle, même si la source est citée.

### ② Consignes

- Il est rappelé que la rédaction fait partie du travail de création d'un rapport ou d'un mémoire, en conséquence lorsque l'auteur s'appuie sur un document existant, il ne doit pas recopier les parties l'intéressant mais il doit les synthétiser, les rédiger à sa façon dans son propre texte.
- Vous devez systématiquement et correctement citer les sources des textes, parties de textes, images et autres informations reprises sur d'autres documents, trouvés sur quelque support que ce soit, papier ou numérique en particulier sur internet.
- Vous êtes autorisés à reprendre d'un autre document de très courts passages in extenso, mais à la stricte condition de les faire figurer entièrement entre guillemets et bien sur d'en citer la source.

**③ Sanction :** En cas de manquement à ces consignes, le département SIAFEE se réserve le droit d'exiger la réécriture du document, dans ce cas la validation de l'Unité d'Enseignement ou du diplôme de fin d'études sera suspendue.

### ④ Engagement :

Je soussigné (e) \_\_\_\_\_ Naïs Pétrini \_\_\_\_\_  
Reconnaît avoir lu et m'engage à respecter les consignes de non plagiat

A \_\_\_\_\_ Marseille \_\_\_\_\_ le \_\_\_\_\_ 23/09/2013 \_\_\_\_\_

Signature :



Cet engagement de non plagiat doit être inséré en début de tous les rapports, dossiers, mémoires.



## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Marc Dorel et Fred Salmon de m'avoir accueillie durant ces six mois de stage, pour leur disponibilité et leur encadrement.

Merci à Gaëlle Damour, Hoa Tran Quoc, Paul Meynard, Jules Lakhia et Christina pour leur volonté de partager leurs savoirs et leurs conseils avisés.

Un grand merci à Steewy Lakhia pour ses conseils, son soutien ainsi que pour sa bonne humeur.

Je tiens également à remercier les enseignants d'AgroParisTech et particulièrement Thierry Doré, mon directeur de master, ainsi que Jean Roger Estrade, mon tuteur de stage, pour leur disponibilité, leurs conseils et leur grande compréhension.

Enfin un énorme merci aux stagiaires et thésards du CIRAD, Jérémie, Maxime, Esther, Eléa, Joahn, Camille et Florence ainsi qu'à mes collègues de classe Sèverin, Romain, Estelle, Samuel et Cathy pour tous ces bons moments passés ensemble, et particulièrement pour leurs conseils, leur soutien et leur bonne humeur.

## SOMMAIRE

Introduction .....	6
I. Etude des innovations proposées par le Cirad .....	10
1. Etude des caractéristiques de la nouvelle variété et évaluation vis-à-vis de la variété standard. ....	10
1.1. Etude des caractéristiques agronomiques des variétés Flhorban 925 et Grande Naine 902. ....	10
1.2. Besoins nutritionnels des variétés FlhorBan 925 et Grande Naine 902, Bilan nutritif pour l'azote et le potassium .....	12
1.3. Comportement des variétés FlhroBan et Grande Naine vis-à-vis des bioagresseurs ....	14
1.4. Contraintes relatives à la variété Flhorban 925 et orientation des pratiques culturales. ....	16
2. Synthèse sur les plantes de services : .....	16
2.1. Concept et intérêts des plantes de service. ....	16
2.2. Services écosystémiques attendus au sein des agrosystèmes bananiers et mécanismes mis en jeu.....	18
2.3. Sélection des plantes de service .....	20
II. Elaboration d'outils et d'indicateurs pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture innovants .....	24
1. Méthode d'évaluation de la durabilité : Définition du cadre de l'évaluation et des objectifs opérationnels de durabilité. ....	24
2. Indicateurs et outils d'évaluation des performances.....	24
2.1. Indicateurs des performances économiques .....	24
2.2. Indicateurs d'évaluation des performances agro-environnementales.....	26
3. Evaluation de l'effet de la densité sur les caractéristiques morphologiques et agronomiques de la variété Flhorban 925. ....	28
4. Construction d'un modèle d'aide à l'évaluation.....	30
4.1. Entrées et sorties du modèle. ....	32
4.2. Paramétrage, structure et fonctionnement du modèle.....	32
5. Prototypes de systèmes de culture innovants proposés à évaluer.....	36
III. Evaluation des systèmes de culture innovants et discussion .....	38
1. Effet de la densité sur les caractéristiques agronomiques et morphologiques des bananiers.....	38
2. Evaluation des performances économiques et agro-environnementales .....	42
Conclusion et perspectives .....	50
Table des illustrations .....	
Références bibliographiques.....	
Annexes .....	

## Introduction

La banane dessert fait partie des principales cultures d'exportation aux Antilles françaises et joue un rôle majeur pour ces départements d'Outre Mer. En Guadeloupe, elle représente 20 % de la production agricole (Agreste, 2011). Etant le premier produit d'exportation du département (85% de la production annuelle sont exportés), elle constitue sa principale source de revenus agricoles et d'emplois (12 000 emplois directs et indirects) dans un contexte où les taux de chômage sont importants. La banane représente donc pour la Guadeloupe un secteur essentiel sur lequel repose son développement économique (Agreste, 2011). Cependant, ce secteur rencontre actuellement d'importantes difficultés qui mettent en danger la stabilité de la filière. La forte concurrence du marché international, les coûts de production élevés ainsi que la baisse des rendements engendrent des problèmes de durabilité économique. Des problèmes de durabilité agronomiques et environnementaux sont également associés à cette production en raison de la forte pression des bioagresseurs, de la pollution et de la dégradation des ressources naturelles et des milieux (Temple *et al.*, 2008).

En Guadeloupe, les cultures intensives principalement basées sur la variété « Grande Naine » du sous-groupe des Cavendish, sont soumises à d'importantes pressions liées à divers bioagresseurs. Les nématodes phytoparasites tel que *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae* (Gowen et Quenervé., 1990), les charançons (*Cosmopolites sordidus*) (Viladebó, 1984) et les cercosporioses jaune et noire (*Mycosphaerella musicola* et *Mycosphaerella fijiensis*) (De Lapeyre De Bellaire *et al.*, 2010) sont les principaux bioagresseurs auxquels les cultures doivent faire face. Ces pathogènes peuvent engendrer d'importantes pertes de production pouvant aller jusqu'à 100% dans le cas de la cercosporiose noire. Cette dernière, détectée en Guadeloupe en 2012 (IT<sup>2</sup>, 2012), est considérée comme étant l'une des maladies les plus dévastatrices pour la culture et la contrainte majeure à laquelle la production de banane doit actuellement faire face (De Lapeyre De Bellaire *et al.*, 2010).

Ainsi, la lutte contre ces bioagresseurs est vitale pour la filière d'exportation. Elle repose principalement sur des méthodes de lutte intensive à base de pesticides. Aujourd'hui, les systèmes agricoles conventionnels orientés vers l'optimisation de la productivité des monocultures via l'utilisation d'intrants phytosanitaires montrent leurs limites. La révélation des pollutions agricoles en Guadeloupe, en particulier par le Chlordécone (Beaugendre, 2005), a accéléré la prise de conscience quant aux impacts environnementaux et humains de ces pratiques agricoles, (Belpomme *et al.*, 2007).

Les autorités ont mis en place des normes d'utilisation des pesticides de plus en plus contraignantes et retirent progressivement leur autorisation sur le marché européen, rendant ainsi les traitements plus délicats à réaliser (De Lapeyre De Bellaire *et al.*, 2010). En ce qui concerne les traitements aériens, mis en place pour la gestion des cercosporioses, ils sont actuellement limités par arrêté préfectoral. On peut s'attendre à les voir interdits dans un avenir proche. Dans ce contexte, la filière est amenée à revoir ses méthodes de production (Temple *et al.*, 2008).

Afin d'assurer le maintien de la filière face aux enjeux économiques et socio-environnementaux majeurs sur l'île, les planteurs se sont engagés dans un plan « Banane durable », autour d'initiatives concrètes qui s'inscrivent dans les objectifs du plan Ecophyto 2018 (Girard, 2010). Il s'agit d'assurer le développement et la pérennité économique de la filière, d'améliorer les conditions de travail des planteurs et des salariés et, enfin, de réduire l'impact de la culture de la banane sur l'environnement (Girard, 2010). Une partie du programme concerne la mise au point, par la recherche, de pratiques culturales et d'innovations techniques agroécologiques répondant aux critères de gestion durable des agrosystèmes et des ressources naturelles, sans compromettre les revenus des producteurs (Girard, 2010). Elle est articulée autour de deux axes de recherche créés en partenariat avec le Cirad et l'IT<sup>2</sup> (Institut Technique Tropical) ; un axe 'sélection variétale' afin de mettre au point des variétés résistantes aux cercosporioses, adaptées aux différentes contraintes de production, de logistique et de marché et un axe 'systèmes de culture' cherchant à élaborer et évaluer des systèmes reposant sur l'utilisation de plantes de service et la restauration de fonctions agroécologiques. A l'interface de ces deux plateformes, l'objectif est de concevoir des systèmes de culture bananiers adaptés aux variétés résistantes aux cercosporioses, et basés sur une réduction de l'utilisation





d'intrants chimiques par l'intégration de plantes de services. Ces innovations devront permettre d'optimiser les agrosystèmes tout en améliorant leur résilience et en tenant compte des diverses contraintes agronomiques, environnementales et socio-économiques (Girard, 2010).

Dans le cadre de ce processus de recherche, une variété a été sélectionnée, la FlhorBan 925. Cette variété présente une résistance partielle aux cercosporioses sur plusieurs gènes et des caractéristiques acceptables pour répondre aux différents critères de production, de qualité et de marché. Cependant, elle présente certaines spécificités par rapport à la variété standard (Grande Naine), notamment une taille importante en 2ème cycle de culture qui peut diminuer la rentabilité et implique un changement des pratiques culturales et des itinéraires techniques. Pour que l'innovation variétale soit adoptée, il est donc nécessaire de mettre au point des systèmes de culture qui soient adaptés à cette variété et qui satisfassent les exigences vis-à-vis des systèmes de culture conventionnels : diminution de l'utilisation des intrants phytosanitaires et rentabilité du système de production.

Il est donc proposé par le Cirad, de conduire la bananeraie sur un seul cycle de culture plutôt que sur 5 cycles. La question suivante se pose : dans quelles conditions une culture sur un cycle avec l'achat et la replantation annuelle de nouveaux plants peut-elle être rentable ? Il est émis l'hypothèse que la mise en place d'une culture à haute densité et l'introduction de plantes de service dans l'agrosystème permettrait d'augmenter le rendement tout en diminuant l'utilisation d'intrants chimiques et ainsi de garantir la rentabilité économique de la culture.

**L'objectif de ce stage est de contribuer à la mise au point de modèles et d'indicateurs permettant l'optimisation et l'évaluation des performances économiques et agro-environnementales des systèmes de culture innovants, dans le contexte de production de Neufchâteau situé sur la commune de Capesterre-Belle-Eau (Guadeloupe).**

Dans ce rapport, les innovations proposées par le Cirad seront dans un premier temps étudiées. Elles seront ensuite évaluées et optimisées, à l'aide d'outils et sur la base de plusieurs indicateurs.

**Tableau 1 :** Comparaison des caractéristiques générales des variétés Grande Naine 902 et Flhorban 925 sur deux cycles de culture.

<b>Variété</b>	<b>Flhorban 925</b>		<b>Grande Naine 902</b>	
<b>Plant</b>	<b>Cycle 1</b>	<b>Cycle 2</b>	<b>Cycle1</b>	<b>Cycle 2</b>
Hauteur de la plante (cm)	278	390	280	/
Circonférence du pseudotrunc (cm)	47	61	66	/
Robustesse (circonférence / hauteur*100)	17	16	23	/
Durée du cycle (mois)	10	6	10	8
<b>Régime</b>				
Nombre de doigts dans un régime	162	198	155	200
Poids du régime (Kg)	25	28	28	33
<b>Fruit</b>				
Longueur des fruits (mm)	210	200	200	210
Diamètre des fruits (mm)	33	33	33	33
Poids des fruits (g)	140	150	230	235
<b>Comportement / Bioagresseurs</b>				
<i>Yellow sigatoka</i>	Tolérante		Sensible	
<i>Black sigatoka</i>	Tolérante		Sensible	
<i>Radopholus Similis</i>	Tolérance moyenne		Sensible	
<i>Pratylenchus Coffeae</i>	Tolérante		Sensible	
Taux de multiplication de <i>Radopholus Similis</i>	21,5		40,8	
Taux de multiplication de <i>Pratylenchus Coffeae</i>	12,5		30	
Niveau de sensibilité face à <i>R. Similis</i> /Grande Naine (%)	53		100	
Niveau de sensibilité face à <i>P. coffeae</i> /Grande Naine (%)	42		100	

## **I. Etude des innovations proposées par le Cirad.**

En Guadeloupe, la culture de banane est dominée par la variété Grande Naine (variété 902) qui appartient au genre *Musa* et au sous- groupe des Cavendish (AAA). Des connaissances générales concernant la physiologie du bananier sont présentées en Annexe 1 La gestion technique des systèmes de culture bananiers est actuellement adaptée aux spécificités de cette variété. En bananeraie, l'objectif principal est de maintenir un peuplement productif en bon état sanitaire et d'optimiser la production de fruits de qualité. La gestion de la culture doit se faire dans des conditions économiques satisfaisantes pour le planteur, tout en minimisant les dégradations de l'environnement. (Lassoudière, 2007). La principale innovation proposée par le Cirad est l'introduction de la nouvelle variété 925 au sein des systèmes de culture. Ses caractéristiques doivent être évaluées vis-à-vis de la variété 902 à l'aide d'indicateurs de productivité et de durabilité à une densité définie. Des diagnostics agricoles sont également mis en place afin de suivre les besoins nutritionnels des deux variétés et afin de visualiser quelle gestion doit être mise en place vis-à-vis des bioagresseurs (Lassoudière, 2007).

### **1. Etude des caractéristiques de la nouvelle variété et évaluation vis-à-vis de la variété standard.**

#### **1.1. Etude des caractéristiques agronomiques des variétés Flhorban 925 et Grande Naine 902.**

La croissance et le développement du bananier se stabilisent à partir du deuxième cycle de culture, plus précisément à partir de la sortie des rejets (Lassoudière 2007). Les caractéristiques relatives à la productivité et à la durabilité varient entre le premier et le deuxième cycle de culture. Leur étude sera donc effectuée sur les deux premiers cycles de culture à une densité de référence de 1800 plants/Ha. Les caractéristiques générales des variétés 925 et 902 sont présentées dans le tableau 1 ci-contre et sont issues de la fiche technique de la variété 925 (Annexe 2) et d'informations fournies par le Cirad Guadeloupe.

- ➔ Le poids des régimes : Il est défini par la relation entre le nombre de fruits et le poids moyen des fruits du régime (Ganry, 1980). La variété 925 présente, au cours des deux premiers cycles de culture, un poids de régime moins important que la variété 902. Cela s'explique notamment par un poids moyen des fruits du cultivar 925 moins important. Le grade (diamètre) et la longueur des doigts, faisant partis des critères de qualité pour être acceptés sur le marché, sont à priori équivalents pour les deux variétés et sur les deux cycles. Actuellement, les critères sont adaptés à la variété 902. Les seuils sont établis à 3.2 cm pour le grade et 16 cm pour la longueur.
- ➔ La durée des cycles de culture : Au cours de chaque cycle, le développement du bananier est caractérisé par deux phases, la phase de croissance qui débute à la plantation et prend fin au stade de floraison et la phase de développement de l'inflorescence et du régime qui débute après le stade de floraison et se termine au stade récolte. La durée de la phase de croissance est déterminée par l'intervalle plantation-floraison (IPF). La durée de la phase de floraison et de remplissage du régime est déterminée par l'intervalle Floraison-coupe (IFC) (Ganry *et al* 2008). Les stades servent de repère et permettent de déterminer la durée d'un cycle de culture. La durée du premier cycle de culture correspond à l'intervalle de temps, entre la plantation et la récolte et est déterminée par la somme de l'IPF et de l'IFC. A partir du second cycle, la durée des cycles correspond à l'intervalle de temps entre la récolte du cycle n et la récolte du cycle n+1 (Lassoudière, 2007). La durée du cycle renseigne sur le retour de cycle, le nombre de régimes produits par an et donc sur le rendement potentiel de la variété à l'année. Les deux variétés présentent des durées similaires pour le 1<sup>er</sup> cycle de culture. En revanche, la variété 902 présente un retour de cycle plus long que la variété 925.
- ➔ La hauteur et la circonférence des bananiers : Au champ, la hauteur des bananiers de la variété 925 est nettement supérieure en deuxième cycle alors que la hauteur des bananiers de la variété 902 reste plus ou moins constante au cours des deux cycles (Champion, 1963). On peut supposer que l'importante variation de la hauteur des pseudotroncs de la variété 925 en deuxième cycle serait due à la présence de réserve nutritive réalisée par le pied mère et bénéficiant directement au rejet (communication

**Tableau 2** : Estimation de la biomasse totale produite et des quantités d'azote (N) et de potassium (K) immobilisées à la récolte par une touffe et par la bananeraie (à une densité de 1680 plants/ha) pour les deux variétés à partir de Marchal et Mallessard (1979).

Variété	Données variété Grande Naine au Cameroun d'après (Marchal et Mallessard, 1979)	Données variété Grande naine (902) en Guadeloupe	Données variété Flhorban 925 en Guadeloupe
Circonférence du pseudotrunc du pied mère (cm)	74,00	66,00	47,00
Hauteur du pseudotrunc du pied mère (cm)	287,00	280,00	278,00
Circonférence du pseudotrunc du rejet (cm)	/	24,00	68,68
Hauteur du pseudotrunc du rejet (cm)	/	145,00	283,00
Volume du pseudotrunc (m <sup>3</sup> )	125,06	97,06	48,87
Volume pseudotrunc du rejet(m <sup>3</sup> )	11,53	6,65	106,23
Masse volumique du bananier (Kg.cm <sup>3</sup> )	1,12	1,12	1,12
Indicateur de Biomasse fraîche du pied mère (Kg)	140,56	109,08	54,92
Indicateur de Biomasse fraîche du rejet (Kg)	12,96	7,47	119,39
Indicateur Biomasse fraîche Totale de la touffe (Kg)	153,52	116,55	174,31
Teneur totale en biomasse sèche du plant (%)	10,90	10,90	10,90
Indicateur de Biomasse sèche totale de la touffe (kg)	16,73	12,70	19,00
Quantité N immobilisée/touffe (g)	175,20	133,01	198,93
Quantité K immobilisée/touffe(g)	646,80	491,06	734,40
Production de Biomasse fraîche à l'hectare (Tonnes/Ha)	257,9	195,81	292,84
Biomasse sèche produite à l'hectare (Tonnes/Ha)	28,2	21,34	31,92
Quantité N immobilisée à l'hectare (Kg/Ha)	294,34	223,46	334,20
Quantité K immobilisée à l'hectare (Kg/Ha)	1086,62	824,98	1233,79
Ratio (%)	/	100,00	149,55

**Tableau 3** : Estimation des immobilisations minérales en azote (N) et potassium (K), en pourcentages cumulés au cours du cycle (Lassoudière, 2007).

Stade de croissance	Age (en mois)	N (%)	K (%)
Végétation	2	10	< 5
Végétation	4	35	25
Induction florale	6	70	45
Floraison	8	90	85
Récolte	11	100	100

personnelle). La variété 925 présente également une circonférence du pseudotrunc et donc une robustesse du pseudotrunc (résistance à la casse) moins importante que la variété 902. On peut noter que la robustesse influence le nombre de plants producteurs (Guillermet, 2008).

## 1.2. Besoins nutritionnels des variétés FlhorBan 925 et Grande Naine 902, Bilan nutritif pour l'azote et le potassium

L'azote et le potassium sont les principaux éléments minéraux qui interviennent dans la croissance et la nutrition du bananier. (Lassoudière, 2007). L'absorption des éléments se fait en fonction de la production de biomasse et suit donc la même dynamique tout au long du cycle (Montagut *et al.*, 1965). Il est donc nécessaire d'évaluer les besoins du peuplement au cours de son développement et en fonction des objectifs de rendement (Lassoudière, 2007).

Afin d'apprécier les quantités d'éléments minéraux immobilisés par la culture, un bilan nutritif est établi. Le suivi de la production de biomasse permet de visualiser l'évolution de la croissance du bananier et d'identifier les stades où les besoins sont les plus importants (Montagut *et al.*, 1965). Par manque de données concernant la taille des bananiers et des rejets en deuxième cycle de culture, seuls les besoins globaux du bananier au cours de premier cycle de culture seront estimés. L'analyse de la biomasse sèche totale produite à la récolte par la touffe (pied mère + rejet) permet de déterminer les quantités totales d'azote et de potassium immobilisées par le bananier. (Montagut *et al.*, 1965). Les quantités totales immobilisées par la bananeraie seront également estimées à une densité de référence. N'ayant pu effectuer les mesures permettant de déterminer la biomasse sèche produite à la récolte ainsi que l'analyse des quantités totales d'éléments immobilisés par les variétés 902 et 925, ces données ont été estimées. La biomasse sèche totale a été évaluée à partir d'un indicateur de biomasse totale et de la teneur en eau du bananier. La biomasse fraîche totale produite par la touffe a été calculée à partir de son volume et de la masse volumique du bananier. Les données concernant la masse volumique, la teneur en eau des bananiers et les quantités d'azote et de potassium immobilisées à la récolte des deux variétés produites en Guadeloupe ont été déterminés à l'aide de l'étude effectuée par Marchal et Mallessard (1979) sur la variété Grande Naine au Cameroun à une densité 1680 plants/ha, d'essais de cultures avec les variétés 902 et 925 et sur la base de plusieurs hypothèses :

- **H1 : Les masses volumiques des bananiers des variétés 902 et 925 sont égales.**
- **H2 : Les teneurs en eau et en matière sèche des deux variétés sont équivalentes.**
- **H3 : A biomasse égale, les besoins nutritionnels sont les mêmes pour les deux variétés.**

L'estimation de la biomasse totale produite et des quantités d'éléments immobilisés à la récolte sont présentées dans le tableau 2 ci-contre.

Les formules de calculs et les données utilisées sont répertoriées en Annexe 3 et 4. La variété 902 produit 116.55 kg de biomasse fraîche par plant. La variété 925, produit 49.55% de biomasse en plus que la variété 902. Les besoins en azote et en potassium, évoluant proportionnellement selon notre hypothèse, seraient donc plus importants pour la nouvelle variété que pour la variété standard. A une densité de 1800 plants/ha, qui est la densité référence dans notre étude, les besoins par hectare seraient de 239.42 kg d'azote et 883.9kg de potassium pour la variété 902 et de 358.07 kg d'azote et 1321.9 kg de potassium pour la variété 925. Les besoins en éléments minéraux évoluent au cours du cycle de développement du bananier et sont synthétisés dans le tableau 3 ci-contre. Les besoins en azote sont continus durant la plus grande partie du cycle et sont maximum durant la période de croissance (Montagut *et al.*, 1965 ; Lassoudière, 2007). Les besoins en potassium sont maximum en phase d'initiation florale et durant la montée de l'inflorescence dans le pseudotrunc (Montagut *et al.*, 1965 ; Lassoudière, 2007).

Garantir une certaine productivité implique de satisfaire les besoins en éléments minéraux de la culture (IT<sup>2</sup>, 2013). Cela peut être effectué par une fertilisation. Pour des raisons économiques et environnementales, la fertilisation doit être optimisée et raisonnée. Le raisonnement de la fertilisation se fait, dans un premier temps, par le calcul de la dose globale de fertilisant à apporter afin de maintenir un niveau optimal d'éléments minéraux dans le sol au dessus du seuil critique pour la nutrition des bananiers. Cette dose dépend en partie des potentialités du milieu (Marchal et Mallessard,



1979). Il est important de fractionner l'apport afin de minimiser les pertes par lixiviation (Doré *et al.*, 2006). Le calcul de la dose globale est effectué à partir d'un bilan prévisionnel. (Doré *et al.*, 2006).

#### ➔ Bilan prévisionnel de l'azote minéral et fertilisation

Ne disposant pas des données concernant le potassium (quantité en potassium présent dans le sol, quantité de potassium apporté par les résidus de culture...), le bilan prévisionnel du potassium ne sera pas calculé. Le bilan prévisionnel de l'azote consiste à évaluer les besoins du peuplement en tenant compte des quantités d'azotes fournis par le sol et des divers flux d'azote qui s'y déroulent au cours du développement de la culture (Doré *et al.* 2006). Cela permet d'ajuster et d'optimiser l'apport d'azote. Les potentialités du milieu à fournir de l'azote dépendent des conditions pédoclimatiques, en particulier du type de sol et de la pluviométrie (Doré *et al.* 2006). Selon (Schvartz *et al.*, 2005), le bilan prévisionnel de l'azote<sup>1</sup> s'écrit :  $Rf - Re = (Mo + X) - (Nf - Ne + L)$

En Guadeloupe, la dose globale d'azote à fournir pour satisfaire les besoins nutritionnels des bananeraies de Cavendish (239 kg pour 1800 plants/ha) situées sur le site de Neufchâteau (250 m d'altitude), où les sols sont classés comme andosols et où les précipitations sont en moyenne de l'ordre de 3500 mm/an a été déterminée à l'aide du modèle SIMBA-N développé par M.Dorel. Selon Dorel *et al* (2008), elle serait de 300 Kg/ha/an. Pour fournir cette quantité d'azote, il est nécessaire d'apporter environ 2000 kg/ha de fertilisant (15-5-20 NPK). Ne disposant pas de toutes les données pour effectuer un bilan azoté relatif à la variété 925 et étant toujours situés sur le site de Neufchâteau, nous faisons l'hypothèse que les paramètres de l'équation du bilan azoté (Rf, Re, Mo, et L) sont identiques pour les deux variétés et que la dose globale d'azote à apporter variera en fonction des besoins en azote de la variété considérée, estimés dans le tableau 2. Ainsi, avec des besoins de l'ordre de 358 kg/ha/an pour les bananeraies de Flhorban 925 (1800 plants/ha), la dose globale d'azote à apporter, estimée sous ces hypothèses, serait de 448,66 Kg/ha/an. Pour répondre à ces besoins, 2991 kg/ha/an de fertilisant doivent être apportés. Enfin, l'apport d'azote doit être fractionné en fonction des différentes phases de développement du bananier et de la pluviométrie. Ce fractionnement doit permettre de limiter les pertes par lixiviation et de maintenir une quantité d'azote minéral du sol au dessus du seuil critique de nutrition durant le cycle de développement du bananier.

### 1.3. Comportement des variétés FlhroBan et Grande Naine vis-à-vis des bioagresseurs

En Guadeloupe, la production bananière doit faire face à une importante pression parasitaire. Les principales contraintes sont les cercosporioses et le parasitisme tellurique. À l'heure actuelle, la production de bananes dessert est significativement touchée par la cercosporiose jaune et la cercosporiose noire. Ces maladies fongiques affectent tous les organes de l'hôte et constituent les principales causes de perte de rendement. La cercosporiose noire, qui est la forme la plus virulente, est présente en Guadeloupe depuis Janvier 2012, Son effet le plus gênant pour la production est celui sur la durée de conservation des fruits. Leur "durée de vie verte " (temps entre la récolte et la maturation) est très diminuée (De Lapeyre De Bellaire *et al.*, 2010). Cela entraîne des murissements pendant le transport rendant les bananes non commercialisables. Le contrôle des ces maladies se fait par l'application de techniques culturales telles que l'effeuillage et de traitements aériens à base d'un mélange de fongicides et d'huiles minérales environ 10 fois par an. La variété 925 présente une résistance partielle aux agents responsables des cercosporioses ce qui n'est pas le cas de la variété 902.

---

<sup>1</sup> Avec Rf et Re les quantités d'azote nitriques présentent dans le sol à l'ouverture (Stock de départ) et à la fermeture du bilan; Mo est la quantité nette d'azote minéralisé dans le sol à partir des différentes sources (matière organique du sol, résidus de culture...) entre l'ouverture et la fermeture du bilan ; X est la dose d'azote fournie par les engrais minéraux et les engrais organiques ; Nf et Ne sont les quantités d'azote minéral absorbées par le peuplement respectivement à la fermeture et à l'ouverture du bilan et L est la quantité d'azote lixivié au-delà de la profondeur de prospection des racines entre l'ouverture et la fermeture du bilan.

➤ **Assolement des Systèmes de Culture conventionnel (1500 pieds/ha)**

<b>Interculture</b>	<b>Cycle 1</b>	<b>Cycle 2</b>	<b>Cycle 3</b>	<b>Cycle 4</b>	<b>Cycle 5</b>
---------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------



→ **Rendement** = 5 X 40 Tonnes / 6 ha = 33 T / ha de SAU  
 → **Cout annuel de replantation** = 2600 €/2 ha = 433 €/ha soit 13 €/tonne

➤ **Assolement Système de Culture annuel haute densité (4000 pieds/ha)**

<b>Interculture</b>	<b>Cycle 1</b>
---------------------	----------------



→ **Rendement** = 1 x 80 Tonnes / 2ha = 40 T / ha de SAU  
 → **Cout annuel de replantation** = 6900 €/2 ha = 3450 €/ha soit 86 €/tonne



**SURCOÛT = 73 €/tonne**

**Figure 1** : Evaluation préliminaire ex-ante de la rentabilité du Système de Culture.



Parmi les parasites du sol les plus contraignants pour la culture bananière, on trouve les nématodes phytoparasites. En Guadeloupe, les bananiers sont principalement parasités par *Radopholus similis*, qui est un endoparasite obligatoire, et *Pratylenchus coffeae* (Lassoudière, 2007). Leur prolifération induit une destruction des racines et des tissus du bulbe, ainsi que des troubles trophiques et des retards de croissance. L'ancrage au sol est réduit, ce qui accroît les risques de verse sous l'effet du vent. La gestion de ces parasites se fait à l'aide de traitements nématicides réalisés une à trois fois par an notamment avec le Nemathorin, un produit mixte à base de particules organophosphorées (Risède *et al.*, 2010). L'évaluation de la sensibilité d'une variété à certains nématodes phytoparasites se fait par l'analyse de son statut d'hôte vis-à-vis de ces nématodes, soit sa capacité à multiplier les nématodes au sein de ses racines. La variété Flhorban 925 montre une certaine tolérance aux nématodes *R. similis* et *P. coffeae* mais la variété 902 présente quant à elle, des taux de multiplication qui sont deux fois plus importants. La variété 925 est donc deux fois moins sensible à ces nématodes que la variété 902.

#### 1.4. Contraintes relatives à la variété Flhorban 925 et orientation des pratiques culturales

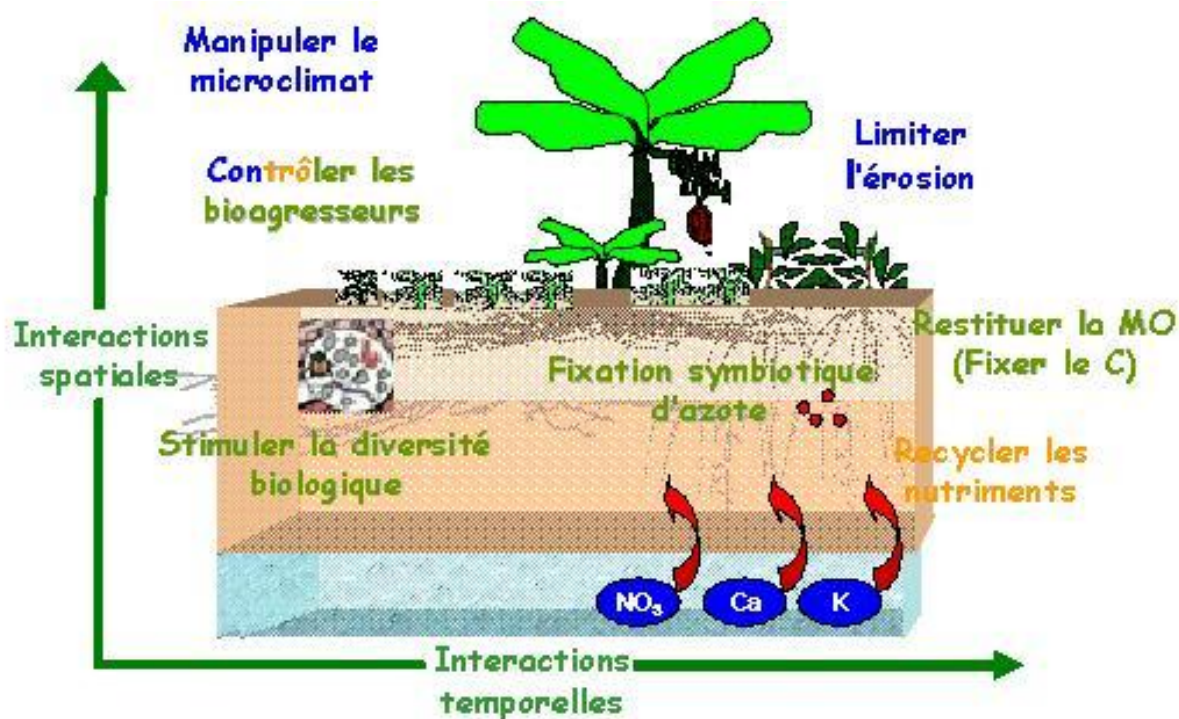
L'étude des caractéristiques agronomiques a permis de visualiser en quoi cette nouvelle variété pourrait satisfaire les objectifs de production vis-à-vis de la variété standard et quelles sont les contraintes associées au choix de cette variété. La variété 925 a un comportement agronomique différent de la variété standard. Elle présente certains désavantages qui peuvent impacter la rentabilité de la culture. En effet, les régimes produits de tailles modestes peuvent handicaper le rendement. Malgré tout, son rendement annuel peut être identique du fait de son retour de cycle rapide. La hauteur des plants, plus importante en 2<sup>ème</sup> cycle, rend difficile et plus coûteuse les interventions culturales (soins aux régimes). De plus, sa faible robustesse augmente le risque de verse, ce qui peut diminuer la rentabilité de la culture. Cependant, la Flhorban 925 est actuellement la seule variété résistante aux cercosporioses disponible, qui répond de façon acceptable aux critères de productions et de qualité de marché et ce dans le cadre d'un processus de sélection très long, allant 10 et 15 ans pour valider une nouvelle variété. On se pose donc la question suivante, quels sont sur la base d'un diagnostic de nouvelles pratiques, les actes techniques qui pourraient être modifiés pour influencer ces caractéristiques agronomiques. Le Cirad propose des pratiques culturales innovantes. Compte tenu de la taille excessive du bananier à partir du 2<sup>ème</sup> cycle de culture, il est proposé, de conduire la bananeraie sur un seul cycle plutôt que sur cinq cycles de culture. Cependant, cette conduite implique la replantation annuelle de plants et induit une diminution de la rentabilité de la culture. Il est également proposé de mettre en place une culture à **haute densité. Cela permettrait d'augmenter le tonnage et de garantir la rentabilité économique de la culture.** Avec ce système, l'objectif est de maximiser le rendement tout en conservant une taille de bananier compatible à la réalisation des interventions culturales. **De plus, positionner ces hybrides dans le cadre de systèmes de cultures durables à faible niveau d'intrants chimiques permettrait également de compenser le surcoût d'une replantation annuelle** (cf Figure 1 ci contre). Pour se faire, il est proposé d'intégrer dans l'agrosystème, des plantes capables d'assurer un certain nombre de services écosystémiques. **Ainsi, l'introduction de plantes de service dans l'agrosystème permettrait, à travers l'amélioration des régulations biologiques et de la fertilité des sols, de réduire l'utilisation d'intrants chimiques et de compenser le surcoût d'un système de culture à haute densité mené sur un seul cycle.**

## 2. Synthèse sur les plantes de services :

L'introduction de plantes de services au sein de l'agrosystème est la seconde innovation proposée par le Cirad afin de mettre en place des systèmes de culture performants et durables basés sur une réduction de l'utilisation d'intrants phytosanitaires.

### 2.1. Concept et intérêts des plantes de service.

Selon Altieri. (1999) et Malézieux *et al* (2009), augmenter la diversité végétale serait un moyen efficace pour mettre en place des systèmes de cultures performants, résilients et durables. La valorisation de la biodiversité au sein des systèmes de culture permet entre autre chose, l'amélioration des processus écologiques, la restauration de services écosystémiques (Isbell *et al.*, 2011), et donc



**Figure 2:** Concept de plante de service (Ozier-Lafontaine, 2009).

l'augmentation de ses capacités d'autorégulation (Vandermeer, 1989). Parmi les processus mobilisés, le contrôle des bioagresseurs (Gurr *et al.*, 2003 ; Bàrberi., 2002, Altieri 2002 ; Malézieux *et al.*, 2009), le bouclage des cycles des éléments nutritifs, la fertilité des sols et une réduction des processus érosifs (Celette, 2007 ; Capillon et Ségué, 2002) ont été mis en évidence. L'augmentation de la diversité végétale au sein des agrosystèmes permettrait donc de réduire l'utilisation d'intrants chimiques tout en maintenant la productivité des systèmes cultivés (Damour *et al.*, 2013 ; Vandermeer, 1989). Un des moyens efficace pour réintroduire de la biodiversité au sein des agrosystèmes est l'utilisation de plantes de service comme interculture et/ou culture associée. Le concept de plantes de service correspond à l'introduction dans les systèmes de culture de plantes cultivées à valeur agronomique autre que strictement marchande, qui ont la capacité, de part leurs caractéristiques, d'assurer de multiples fonctions (cf figure 2 ci-contre) (Damour, 2004 ; Ozier-Lafontaine, 2009). Parmi les plantes de service, l'on peut notamment trouver les plantes de couverture, les Fabacées et les plantes aux propriétés biocides ou bio-régulatrices (Damour, 2004).

## 2.2. Services écosystémiques attendus au sein des agrosystèmes bananiers et mécanismes mis en jeu

Les principaux objectifs liés à l'introduction de plantes de service dans les agrosystèmes sont de diminuer l'emploi d'intrants (phytosanitaires et fertilisants) ainsi que leurs impacts sur l'environnement et d'améliorer la rentabilité du système. Les services attendus concernent donc principalement les régulations biologiques et l'amélioration de la disponibilité en éléments nutritifs et de la fertilité des sols (Damours *et al.*, 2013). Valoriser les services au sein des agrosystèmes nécessite de connaître les interactions et les mécanismes qu'ils mettent en jeu. A partir de ces connaissances, il sera possible d'identifier un moyen pour les développer et les optimiser. En bananeraie, quatre principaux services sont particulièrement attendus :

Le contrôle des nématodes phytoparasites: Ce contrôle peut être effectué par l'introduction de plantes ayant un statut non hôte dans l'agrosystème (Risède *et al.*, 2010) L'absence d'hôtes induit une mort par inanition pour les phytoparasites obligatoires et une rupture de leur cycle de développement (Ratnadass *et al.*, 2012). Il existe également chez les plantes dites « allélopathiques », des mécanismes qui permettent de libérer des substances naturelles inhibitrices ou toxiques pour les nématodes (Gommers, 1981). Enfin, l'introduction de diversités végétales spécifiques permet d'augmenter la diversité des habitats et peut stimuler la diversité biologique des prédateurs naturels présents (Blanchart *et al.*, 2006).

Le contrôle des adventices : Sous l'influence du climat tropical, les adventices annuelles et vivaces se développent très rapidement et durant toute l'année. Ainsi, une importante compétition avec les bananiers pour les ressources peut exister (Damour *et al.*, 2013). Certaines plantes ont la capacité d'inhiber et de limiter la croissance des adventices. Cette régulation peut s'effectuer à partir de mécanismes de compétition pour la ressource lumineuse (Dorel *et al.*, 2011) ou encore à partir d'effets allélopathiques c'est-à-dire par libération de substances inhibitrices (Doré *et al.*, 2004).

Amélioration de la structure du sol : La majeure partie des cultures sont conduites sur des andosols, qui sont poreux et sensibles au tassement. L'augmentation du couvert végétal peut améliorer la structure du sol par des modifications des ses propriétés physiques (Lal *et al.*, 1991) et améliorer l'enracinement de la culture de rente. Ces plantes peuvent également permettre de protéger le sol en diminuant les phénomènes érosifs (Dexter, 1991).

Recyclage des éléments nutritifs, disponibilité de l'azote et fertilité des sols : Les Fabacées sont des plantes fixatrice d'azote atmosphérique. Lors de leur sénescence, elles restituent la matière organique et l'azote fixé, modifient les propriétés chimiques du sol et augmentent le stock d'azote biodisponible pour la culture de rente (Sainju, 2007). Le développement racinaire des plantes peut participer au transfert des éléments minéraux des horizons profonds aux horizons de surface et faciliter l'accès aux nutriments inaccessibles pour les racines des plantes cultivées (Capillon *et al.*, 2002). En améliorant la nutrition de la culture de rente, ces plantes permettent de diminuer l'utilisation d'engrais chimiques.

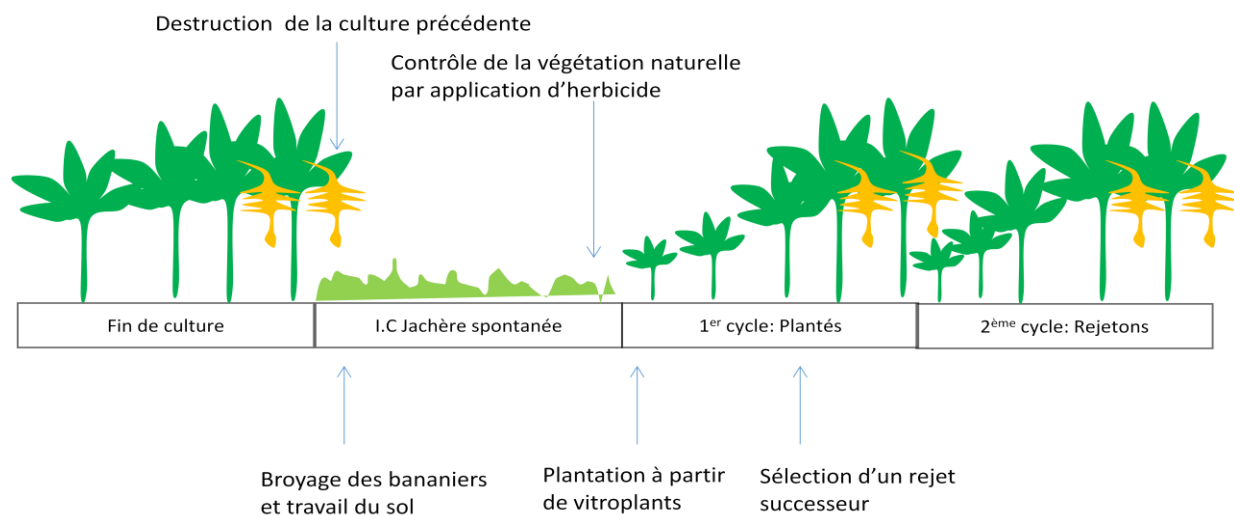


Figure 3: Système de culture de référence Banane-Jachère spontanée

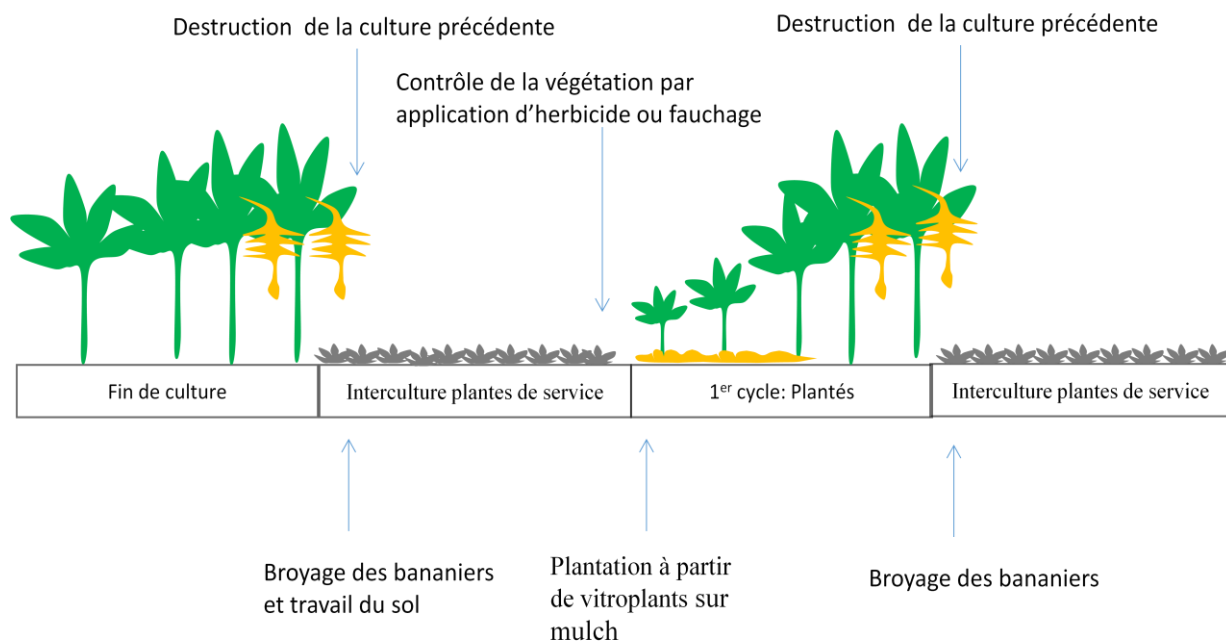


Figure 4: Système de culture innovant proposé : « Interculture et plantation de la bananeraie sur mulch ».

### 2.3. Sélection des plantes de service

Une des méthodes de sélection de plantes de service est basée sur l'utilisation du trait fonctionnel<sup>2</sup> des plantes comme indicateur simplifié de la fonction de la plante dans l'agrosystème et de sa réponse à l'environnement (Lavorel et Garnier, 2002). Selon Damour et al. (2013), cette méthode consiste dans un premier temps à identifier les traits fonctionnels représentatifs du potentiel des plantes à réaliser les fonctions attendues dans l'agrosystème. Ces traits sont ensuite évalués au stade de floraison puis caractérisés sur la base d'une gamme de valeurs et de valeurs seuils établies et permettant à la plante de réaliser la fonction connexe. Cette gamme de valeurs a été déterminée sur la base du fonctionnement de l'agrosystème bananier. Pour chaque fonction, des types fonctionnels doivent être assignés aux plantes en accord avec leur combinaison de valeur de trait liée et leurs aptitudes à réaliser cette fonction : 1- la fonction est réalisée, 0.5- la fonction est modérément réalisée et 0 -la fonction n'est pas réalisée. L'ensemble des types fonctionnels d'une plante définit son profil fonctionnel et permet de visualiser le potentiel global de cette dernière à réaliser l'ensemble des services attendus dans les agrosystèmes bananiers. En fonction des systèmes de culture innovants proposés et du mode d'introduction des plantes (culture intercalaire ou culture associée aux bananiers), différentes fonctions sont attendues. Les plantes de service devront donc présenter certaines caractéristiques afin de réaliser ces fonctions. Selon le système proposé, le profil fonctionnel requis (niveau de réalisation de la fonction) doit être identifié. Enfin, en comparant le profil fonctionnel requis pour le système de culture et le profil fonctionnel des plantes, il est possible de sélectionner la plante qui sera le plus apte à répondre aux services attendus. Le choix d'espèces de plantes de service se base sur la recherche du meilleur compromis.

#### 2.3.1. Système de cultures proposées et fonctions attendues par l'introduction des plantes de service

##### - Système de culture conventionnel de référence :

En Guadeloupe, les systèmes de culture bananiers les plus fréquemment mis en place sont les systèmes de culture « banane-jachère spontanée » (voir Figure 3 ci-contre). La culture précédente est détruite par injection d'herbicide (glyphosate). Après leur destruction, les bananiers sont broyés, puis un travail du sol est pratiqué. La parcelle est ensuite mise en jachère spontanée pour une durée de 12 mois minimum afin d'éliminer les nématodes inféodés au bananier. Après cette période de jachère, une plantation est effectuée à partir de matériel végétal sain, les vitroplants<sup>3</sup> permettant de diminuer les traitements nématicides. Lors du premier cycle de culture, un rejet est sélectionné pour assurer le deuxième cycle. Cinq cycles de culture sont en moyenne conduits avant la mise en place de la jachère suivante.

##### - Système de culture innovant proposé :

Il est proposé dans ce système, de conduire la culture sur un seul cycle. La culture précédente est détruite par injection d'herbicide (glyphosate) et broyée. Un travail du sol est pratiqué. Dans ce système, les plantes de service sont introduites dans l'agrosystème comme culture intercalaire et détruites à l'issue de la période d'interculture (12 mois minimum) par application d'herbicide. La plantation des bananiers est effectuée sur un mulch. Les plantes de service devront notamment permettre de contrôler les nématodes durant la période d'interculture ainsi que les adventices jusqu'à la floraison des bananiers. (cf figure 4 ci-contre). Enfin, les plantes introduites devront être capables de restituer une certaine quantité d'azote disponible pour la nutrition des jeunes bananiers lors de la minéralisation de leur mulch. Enfin les plantes introduites devront être tolérantes à l'ensoleillement.

---

<sup>2</sup> Les traits fonctionnels sont définis comme étant « des caractéristiques morphologiques, phénologiques et physiologique mesurables au niveau de la plante » (Violle et al. 2007).

<sup>3</sup> Plants de bananiers obtenus in-vitro

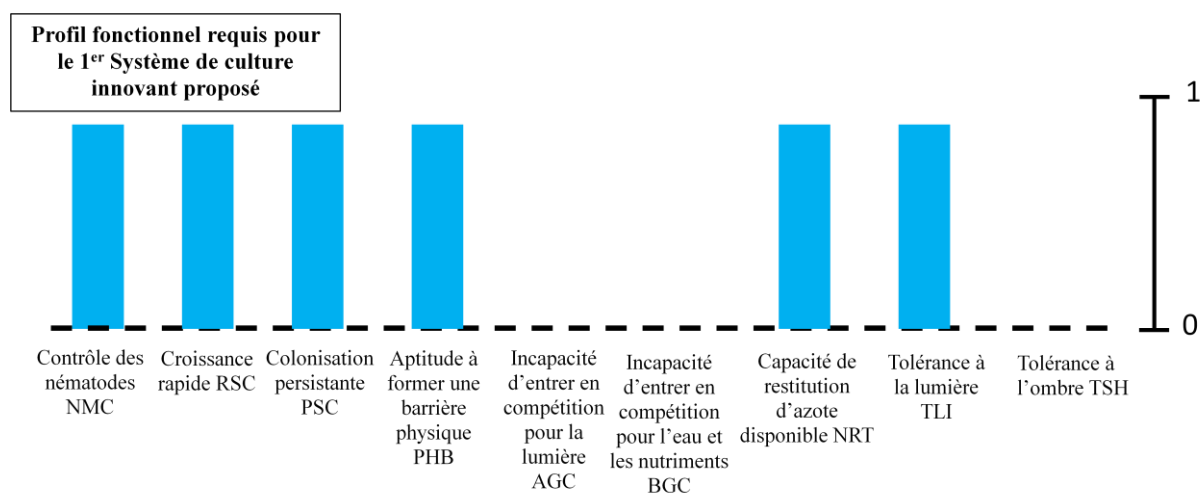


Figure 5 : Profil fonctionnel requis pour le système de culture « Interculture et plantation des bananiers sur mulch» d'après Damour et al (2013).

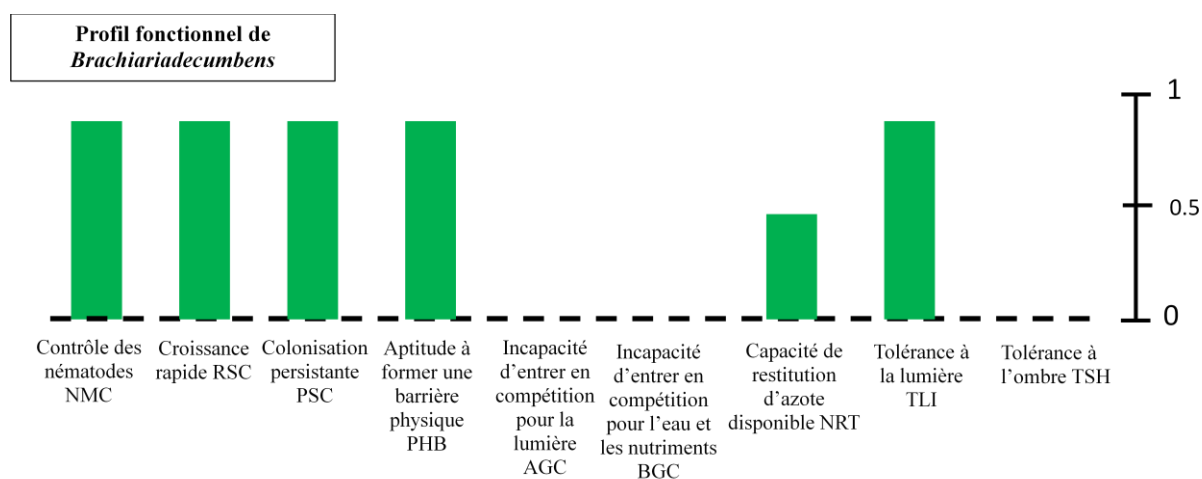


Figure 6: Profil fonctionnel de *Brachiaria decumbens* d'après Damour et al (2013).

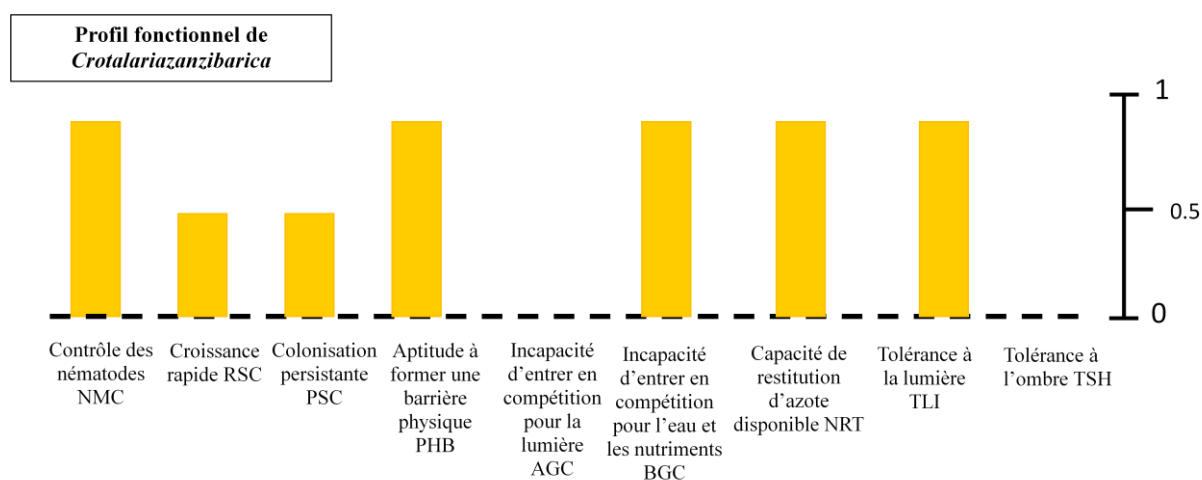


Figure 7 : Profil fonctionnel de *Crotalaria zanzibarica* d'après Damour et al (2013).

### 2.3.2. Sélection de plantes de service pour le système de culture innovant proposé.

Pour réaliser les différentes fonctions attendues dans le système de culture proposé, les plantes devront présenter certaines aptitudes. Le contrôle des nématodes *R.similis* et *P coffea*, par les plantes de service est déterminé par leur aptitude à multiplier les populations de nématodes au sein de leurs racines (Damour *et al.*, 2013 ; Wang *et al.*, 2002). En milieu tropical, le contrôle des adventices dépend de la vitesse de croissance des plantes (lu *et al.*, 2000) mais également de leur persistance et de leur capacité à se propager par multiplication végétative. Après la destruction des plantes, l'aptitude du mulch à former une barrière physique (jusqu'à la floraison des bananiers) afin de limiter le développement des adventices (Mediene *et al.*, 2011) dépend du volume de biomasse produit et de son taux de minéralisation. L'aptitude des plantes à restituer une certaine quantité d'azote disponible pour la nutrition des jeunes bananiers par minéralisation du mulch dépend de la quantité d'azote contenu dans les tissus vivants et de leur taux de minéralisation net. (Damour *et al.*, 2013). Enfin, la capacité des plantes à tolérer les milieux ensoleillés dépend de leur aptitude à maintenir leur développement (Damour *et al.*, 2013).

L'identification des traits fonctionnels relatifs aux fonctions attendues dans les agrosystèmes bananiers, leur calcul et l'évaluation de leurs valeurs vis-à-vis de valeurs seuils sont détaillés en annexe 5 et 6. C'est à partir de l'étude réalisée par Damour *et al* (2013) que le profil fonctionnel nécessaire pour le système de culture proposé (voir ci-contre figure 5) et les profils fonctionnels des plantes de service de la collection du Cirad ont pu être analysés, puisque le choix de la plante de service adéquate pour ce système à été effectué.

La majorité des plantes de la collection du Cirad ont la capacité de réaliser plusieurs fonctions. Cependant l'analyse des distances entre les profils fonctionnels des plantes et le profil fonctionnel requis pour le système de culture proposé, montre qu'une seule plante est rarement capable de réaliser toutes les fonctions attendues (Damour *et al.*, 2013). Selon Damour *et al* (2013), il serait possible d'utiliser la complémentarité fonctionnelle entre les plantes afin de mettre en place un mélange, ce qui s'est montré bénéfique pour différents systèmes (Wortman *et al.*, 2012). La vérification au préalable de la viabilité de l'association est nécessaire. Elle peut se faire par l'étude de la présence/absence d'interactions allélopathiques négatives et de la nature de leurs interactions pour la ressource, approximativement déterminée par le type de niche écologique qu'elles occupent et par leur capacité à entrer en compétition pour la ressource (taille des plantes, habitude de croissance du système aérien et racinaire) (Damour *et al.*, 2013).

Pour le système de culture proposé « Interculture et plantation des bananiers sur mulch » le mélange *Brachiaria decumbens* et *Crotalaria zanzibarica* (cf figure 6 et 7 ci contre) est proposé. Toujours selon Damour *et al.*, (2013), *B. decumbens* présente le profil fonctionnel le plus proche du profil fonctionnel requis pour ce système. Cette variété réalise toutes les fonctions nécessaires, et notamment un contrôle efficace des adventices de part sa forte biomasse aérienne, sa durée de vie importante et sa vitesse d'installation rapide. Cependant la restitution d'azote disponible pour les jeunes bananiers, est modérément réalisée. En effet, elle présente un rapport C/N de 90 et un stock d'azote/ha de 125Kg/ha. Afin d'assurer cette fonction, il est également proposé d'introduire dans le système. *C. zanzibarica* (Fabacée) qui présente un profil fonctionnel également proche du profil fonctionnel requis. Elle effectue un stockage d'importante quantité d'azote (215 Kg/ha) qui permet d'améliorer la fertilité du sol et un rapport C/N de 18 qui assure la disponibilité pour le bananier de l'azote organique minéralisé. Ayant des habitudes de croissance différentes et des types d'enracinement denses d'architectures (*B. decumbens*, graminée semi-érigé à enracinement fasciculé et *C. zanzibarica* légumineuse érigé à enracinement sur pivot) ces plantes de service semblent être compatibles (Dorel *et al.*, 2012).

La caractérisation des traits des plantes et l'estimation des quantités d'azote restituées ont été effectuées à une densité de populations de plantes de service fixes et selon des dispositions définies. Afin d'optimiser la réalisation des fonctions par les plantes, il serait intéressant de déterminer: Quels sont les effets de changements de densité de plantation de plantes de service sur leurs interactions et le niveau de réalisation des fonctions ? Quels sont les densités de plantation et les arrangements spatiaux qui permettraient d'optimiser la réalisation des fonctions par la communauté de plantes ? (Damour *et al.*, 2013).

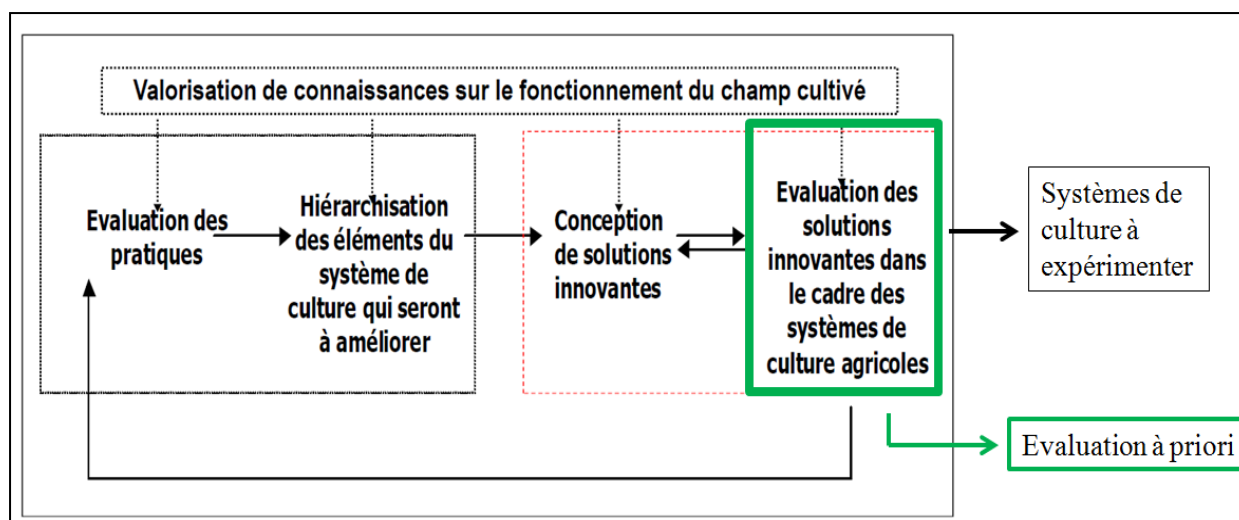


Figure 8 : Démarche de conception et d'évaluation de systèmes de culture (d'après Meynard *et al.*, 1988 ; Reau et Dore, 2008) (En vert : Situation de l'étude dans le processus).

Tableau 4: Présentation des objectifs de durabilité des systèmes de culture pour les dimensions économiques et agro-environnementale.

Dimensions de la durabilité	Objectifs
	Echelle: Parcelle/Exploitation
Economique	Maintient du revenu de l'exploitation Diminution des coût de production (intrants, main d'œuvre)
Agro-Environnementale	Réduction des traitements phytosanitaires (herbicides, nématicides); Réduction d'apport de fertilisants chimiques



Ce système de culture innovant repose sur l'abandon des systèmes intensifs conventionnels pour un système de culture adapté aux caractéristiques de la 925 et qui intègre des plantes de service. Il engendre d'importants changements dans les pratiques et peut avoir des répercussions sur les composantes économiques et environnementales. Ce système doit donc être évalué dans son ensemble sur la base d'indicateurs de performance et en fonction des objectifs attendus.

## **II. Elaboration d'outils et d'indicateurs pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture innovants**

L'évaluation est une étape majeure du processus de conception de systèmes de culture et constitue un préalable indispensable à la diffusion des systèmes de culture «innovants» (Reau et Dore, 2008).

### **1. Méthode d'évaluation de la durabilité : Définition du cadre de l'évaluation et des objectifs opérationnels de durabilité.**

L'application du concept de développement durable à l'agriculture amène à s'intéresser à la fois à la durabilité des systèmes agricoles et à leur contribution au développement durable (Reau et Dore, 2008). Ces exigences de durabilité assignées à l'agriculture rendent nécessaire une évaluation globale des systèmes de culture avec une échelle d'approche plus large et un pas de temps plus long (Doré *et al.*, 2006). L'évaluation consiste à positionner les systèmes de culture vis-à-vis de multiples objectifs fixés au préalable afin d'apprécier l'atteinte de ces objectifs au travers de différents critères (évaluation multicritère), la cohérence agronomique de l'ensemble des choix et les effets cumulatifs de la succession des cultures (évaluation pluriannuelle) (Doré *et al.*, 2006; Nolot et Debaeke, 2003). Ici les systèmes de culture innovants seront évalués, à l'échelle de la parcelle/exploitation et, selon les objectifs du « Plan Banane Durable », durabilité économique, sociale et environnementale et ce, par rapport au système de culture de référence Banane-Jachère. Les critères d'évaluation seront calculés pour une parcelle sur une année. Pour caractériser les effets cumulatifs du système de culture (échelle pluriannuelle), la valeur des critères sera cumulée sur la durée de la rotation et moyennée. En raison du temps limité pour la réalisation de ce travail, seul les volets agro-environnementaux et économiques de la durabilité, décisifs dans la pertinence d'un système, seront considérés. Pour les mêmes raisons, l'évaluation du processus de production s'effectuera entre « la destruction de la culture précédente » jusqu'au stade précédent la récolte des régimes dit stade « régime pendant ». Ce travail fait parti d'un processus d'évaluation « à priori » (cf figure 8 ci-contre). Il devrait permettre de sélectionner les prototypes les plus prometteurs ou de réorienter et d'optimiser les innovations proposées, dans le cas où les objectifs ne seraient pas atteints, avant de les expérimenter. L'évaluation de la durabilité se fait à l'aide d'outils ou indicateurs qui renseignent sur la satisfaction des critères de durabilité.

### **2. Indicateurs et outils d'évaluation des performances**

Un indicateur est défini comme une variable (indicateur simple) ou une combinaison de variables (indicateurs composite) qui fournissent une information au sujet systèmes complexes ou de variables non observables ou difficilement quantifiables, en la positionnant par rapport à un seuil (Huchet, 2010 ; Reau et Doré, 2008). Afin d'évaluer l'impact d'une pratique sur les performances économiques et agro-environnementales d'un système de culture, des indicateurs simples résultant d'agrégation de données brutes ont été utilisés. Après avoir déterminé les objectifs à atteindre par les systèmes de culture, les indicateurs qui les caractérisent doivent être identifiés (cf tableau 4 ci-contre) à partir de références bibliographiques et mesurés directement sur une parcelle expérimentale ou calculés à partir de sorties de modèles.

#### **2.1. Indicateurs des performances économiques**

Les indicateurs de performances économiques sont essentiels pour déterminer s'il est possible de développer un système de culture. Afin d'évaluer les systèmes à l'échelle de la parcelle, ce sont des indicateurs microéconomiques qui ont été choisis (Doré *et al.*, 2006). Il s'agit du coût de production (par poste au cours de la chaîne de production) et de la production brute de la culture. Le coût de



revient (à la tonne ou au kilo de banane expédié) peut également être calculé. Ces indicateurs permettent d'estimer la marge brute des planteurs.

## 2.2. Indicateurs d'évaluation des performances agro-environnementales

### 2.2.1. Indicateurs de fréquence de traitements.

Afin d'évaluer l'impact des traitements phytosanitaires sur l'environnement, l'indice de Fréquence de Traitement (IFT) a été utilisé. C'est un indicateur synthétique caractérisant l'intensité d'utilisation des produits phytosanitaires utilisés par les agriculteurs pour évaluer les pratiques en référence à des normes régionales (Reau et Doré, 2008). L'IFT a été calculé dans un premier temps pour chaque phase de la rotation pour tous les traitements (fongicide, nématicide, herbicide). Un IFT par rotation a ensuite été calculé (somme des IFT de l'ensemble des phases de la rotation) puis divisé par le nombre d'années de la rotation. Puisque les parcelles font un hectare, la moyenne calculée représente une moyenne d'IFT/ha/an. L'indicateur de fréquence de traitement s'écrit:

$$IFT = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{Dose appliquée}}{\text{Dose homologuée}} * \frac{\text{Superficie traitée}}{\text{Superficie totale de la parcelle}} \right)_{\text{produit } i} \quad 4$$

Pour évaluer si le système de culture innovant proposé permet une diminution de l'utilisation des intrants phytosanitaires, il doit être comparé au système de culture de référence et aux références régionales. Dans notre étude il a été comparé à l'agrosystème conventionnel «Banane-Jachère spontanée» basé sur la culture de la variété Grande Naine en Guadeloupe. En Guadeloupe, il n'existe pas de règles de décision et de références régionales en ce qui concerne l'application des traitements phytosanitaires (Huchet, 2010), mise à part pour la gestion des cercosporioses. Dans le cadre de cette étude, il a fallu déterminer la fréquence à laquelle les traitements sont appliqués en fonction de chaque pratique et de chaque ravageur ainsi que la dose moyenne utilisée par produit et par hectare ou par plants. C'est à partir de l'étude du manuel du planteur, d'enquêtes effectuées auprès d'experts du groupement des planteurs de banane Martinique et Guadeloupe (UGPBAN), de l'institut technique tropical et d'un échantillon représentatif des grands planteurs de Guadeloupe que l'enregistrement des pratiques a pu être effectué et que les règles de décisions pour chaque traitement ont pu être déterminées.

- ➔ Traitements herbicides : Les traitements herbicides seraient appliqués en moyenne 5 fois pour le premier cycle et 4 fois pour les autres soit environ tous les deux mois (communication des ingénieurs de l'UGPBAN et de l'IT<sup>2</sup>). Ils sont également employés pour détruire la bananeraie précédente et la végétation spontanée présente au cours de la jachère afin de réguler le développement des nématodes phytoparasites (source : [www.it2.fr](http://www.it2.fr)). Les traitements herbicides sont régulièrement employés au cours de la jachère pour obtenir une jachère nue. Dans notre étude, cette végétation est détruite par un traitement herbicide seulement en fin de jachère, avant la plantation. Certains planteurs mettent en place cette méthode afin de diminuer le stock de graines présentes dans le sol. Cela implique de détruire la végétation avant son entrée en phase de floraison. On considèrera deux interventions herbicides lors de la phase de jachère : la destruction de la bananeraie précédente et des adventices en fin de jachère.
- ➔ Traitements nématicides : L'implantation de jachères assainissantes associées à une plantation de vitroplants et à des méthodes qui limitent les eaux de ruissellement (et donc le transport des nématodes sur la parcelle) permet de limiter le retour des nématodes (à partir de la troisième année de culture). Les jachères spontanées peuvent être hôte des nématodes phytoparasites. Cependant, lorsqu'elles sont utilisées, le choix d'implanter des vitroplants, permet de n'avoir à intervenir qu'à partir de la deuxième année de culture avec des traitements nématicides. Il a été retenu que les traitements nématicides sont généralement appliqués une fois par cycle à partir du deuxième cycle de production.

<sup>4</sup> Avec produit = herbicides, fongicides, nématicides.

Tableau 5: Synthèse des pratiques faisant intervenir des traitements phytosanitaires par phase culturale et des doses qui sont appliquées pour les systèmes de culture conventionnels (référence « Banane 902 - jachère spontanée »).

Superficie traité = 1 ha	Rotation culturale									
Superficie totale de la parcelle = 1 ha	Interculture					Cycle 1				
Pratique (densité 1800 plants/ha)	Mise en place de la pratique	Produit utilisé	Dose appliquée L ou kg /passage/ha	Nombre d'intervention	Dose totale appliquée L ou kg /passage/ha	Mise en place de la pratique	Produit utilisé	Dose appliquée L ou kg /passage/ha	Nombre d'intervention	Dose totale appliquée L ou kg /passage/ha
Destruction bananeraie précédente	1	Touchdown	5,4	1	5,4	0	Touchdown	0	0	0
Destruction adventice	1	Touchdown	5	1	5	1	Touchdown	2	3	6
	1	Basta	0	0	0	1	Basta	3	1	3
	1	Fusillade	0	0	0	1	Fusillade	2	1	2
Gestion nématode	0	nématorin	0	0	0	0	nématorin	0	0	0
Gestion cercosporioses	0	SICO	0	0	0	1	SICO	0,4	10	4
		TILT	0	0	0		TILT	0,4	10	4
		GARDIAN	0	0	0		GARDIAN	0,5	10	5
Superficie traité = 1 ha	Rotation culturale									
Superficie totale de la parcelle = 1 ha	Cycle 2					Cycle 3				
Pratique (densité 1800 plants/ha)	Mise en place de la pratique	Produit utilisé	Dose appliquée L ou kg /passage/ha	Nombre d'intervention	Dose totale appliquée L /passage/ha	Mise en place de la pratique	Produit utilisé	Dose appliquée L ou kg /passage/ha	Nombre d'intervention	Dose totale appliquée L ou kg /passage/ha
Destruction bananeraie précédente	0	Touchdown	0	0	0	0	Touchdown	0	0	0
Destruction adventice	1	Touchdown	2	3	6	1	Touchdown	2	3	6
	0	Basta	3	0	0	0	Basta	3	0	0
	1	Fusillade	2	1	2	1	Fusillade	2	1	2
Gestion nématode	1	nématorin	36	1	36	1	nématorin	36	1	36
Gestion cercosporioses	1	SICO	0,4	10	4	1	SICO	0,4	10	4
		TILT	0,4	10	4		TILT	0,4	10	4
		GARDIAN	0,5	10	5		GARDIAN	0,5	10	5

- ➔ Traitements contre les cercosporioses : Les traitements aériens contre les cercosporioses, sont généralement effectués une fois par mois (De Lapeyre De Bellaire et al. 2010 ; Communication UGPBAN). Sur un cycle de production, 10 passages sont en moyenne comptabilisés.

Après avoir évalué la fréquence d'intervention et la dose appliquée par produit et par pratique pour le système de culture de référence « Banane 902 - jachère spontanée » (cf Tableau 5 ci-contre), il est nécessaire de déterminer la dose d'utilisation pour un produit donné (dose homologuée) par pratique. Les doses homologuées sont référencées pour la majorité des produits et des pratiques. Cependant, en ce qui concerne la pratique de dévitalisation des souches à l'aide de glyphosate afin de détruire la culture précédente, les doses applicables ne sont pas référencées. Selon le «manuel du planteur, crée par l'institut technique tropical, la dose à appliquer est de 6l/Ha soit d'injecter 0.2 ml par plant en deux passages (le deuxième pour les repousses). En absence de dose homologuée pour cette pratique, la dose retenue est à 6l/ha.

Les trois premiers cycles sont représentés dans le tableau. On suppose qu'à partir du deuxième cycle, le comportement de la culture et les interventions requises sont les mêmes.

Le calcul de l'IFT des systèmes « Banane 902 - jachère spontanée » devrait permettre d'obtenir une référence à laquelle l'IFT du système de culture innovant sera comparé et évalué.

#### 2.2.2. Indicateurs de suivi des traitements azotés

La contribution de la fertilisation minérale à la pression environnementale peut être évaluée à l'échelle de la parcelle à l'aide d'un indicateur de suivi de traitement azoté. C'est un indicateur synthétique qui renseigne sur les quantités moyennes d'azote minéral apportées à la culture par hectare et par an. La dose globale d'azote apportée a été calculée dans un premier temps pour tous les cycles de culture. La dose globale apportée par rotation a ensuite été calculée (somme des doses de l'ensemble des phases de la rotation) puis divisée par le nombre d'années de la rotation. Puisque les parcelles font un hectare, la moyenne calculée représente la charge d'azote moyenne appliquée par hectare et par an.

La charge azotée moyenne (kg) appliquée a été calculée pour les prototypes de système de culture innovant et à différentes densités de plantation. Elle a ensuite été comparée à la charge azotée moyenne d'un système de référence afin de visualiser son évolution en fonction des pratiques mises en place dans les différents systèmes.

C'est à partir du calcul du bilan azoté pour les cycles de culture à une densité définie que la dose globale d'azote à apporter /cycle a été déterminée. Cette dose a été estimée dans la partie I.1.3 pour les deux variétés (902 et 925) en premier cycle de culture et à une densité de 1800 plants/ha. Afin de déterminer cette dose pour différentes densités, les besoins totaux de la bananeraie ont d'abord été calculés (Besoin total en azote/plants\*Densité de plantation). Le bilan azoté a ensuite été estimé sous l'hypothèse suivante : Etant toujours situés sur le site de Neufchâteau, les paramètres de l'équation du bilan azoté ( $R_f$ ,  $R_e$ ,  $M_o$ , et  $L$ ) sont identiques et la dose globale d'azote à apporter variera en fonction des besoins en azote /ha de la variété considérée. N'ayant pas de données concernant les besoins nutritionnels des deux variétés en deuxième cycle, les besoins nutritionnels et les doses globales d'azotes apportées ont été supposées identiques au premier cycle.

Enfin, pour évaluer la contribution des plantes de service à la diminution de l'utilisation de fertilisants minéraux, la quantité totale d'azote restituée par les plantes de services par hectare a été soustraite à la dose globale d'azote apportée pour un cycle. Cette quantité dépendra notamment des proportions des différentes plantes mises en place sur la parcelle et de leurs capacités respectives à fournir de l'azote durant la phase de croissance du bananier.

### 3. Evaluation de l'effet de la densité sur les caractéristiques morphologiques et agronomiques de la variété Flhorban 925.

La densité de plantation est une des composantes majeures de la productivité (Lassoudière, 2007). Elle peut notamment avoir une influence sur les caractéristiques agronomiques et morphologiques de la culture qui déterminent le rendement potentiel et les résultats économiques (Robinson, 1996).

Tableau 6 : Présentation des objectifs de durabilité des systèmes de culture pour les dimensions économiques et agro-environnementale et des indicateurs qui les qualifient.

	Objectifs	Indicateurs
Dimensions de la durabilité	Echelle: Parcelle/Exploitation	
Economique	Maintient du revenu de l'exploitation	Rendement, Coût de production et marge brute de l'exploitation
	Diminution des coût de production (intrants, main d'œuvre)	
Agro-Environnementale	Réduction des traitements phytosanitaires (herbicides, nématicides); Réduction d'apport de fertilisants chimiques	Indice de fréquence de traitement, Indicateur de charge azotée

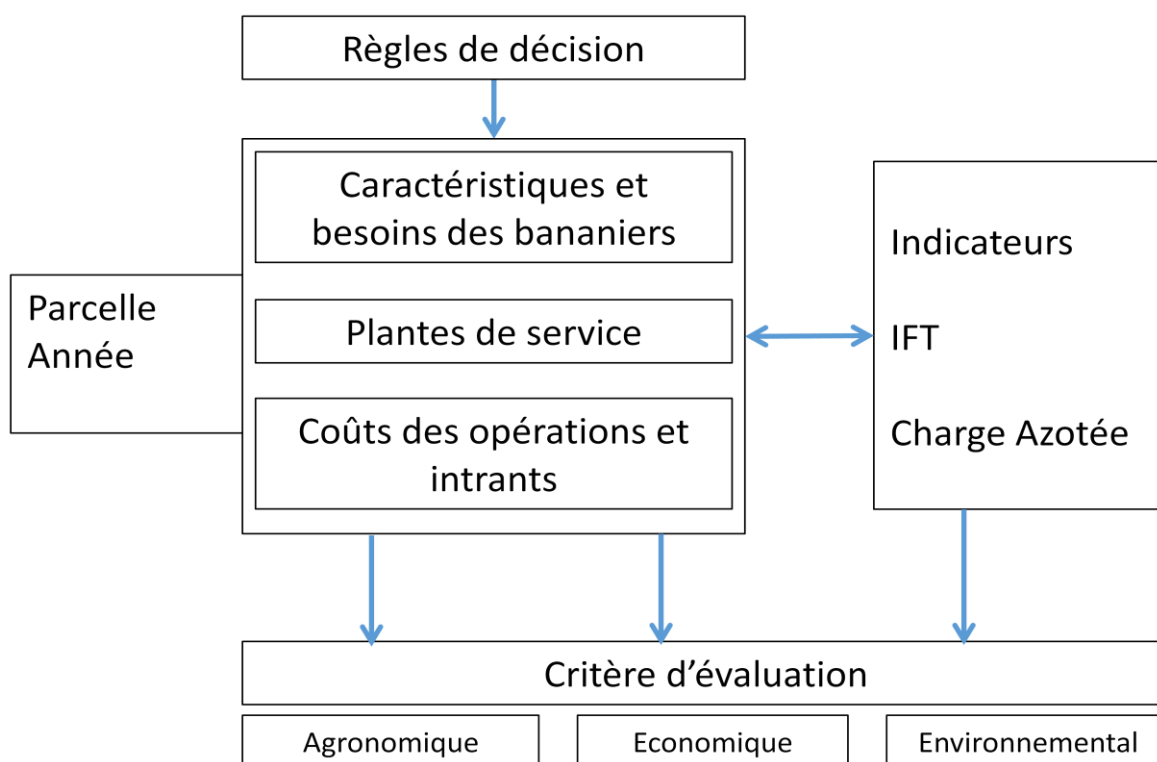


Figure 9 : Modèle d'évaluation multicritère de systèmes de culture innovants

Au sein des plantations à forte densité, l'importante compétition pour l'acquisition des ressources (lumineuses et nutritionnelles), peut conduire à l'obtention de plants plus grands et plus fins, augmentant le risque de verse, ainsi que des tailles de fruits (longueur et grade) et des poids régime moins importants.

Enfin l'augmentation de la densité peut conduire à un retard de l'initiation florale et à des durées de cycle de développement de la culture plus importantes (de 3 à 6 mois pour les 1<sup>er</sup> cycles et de 10 à 12 mois pour les seconds cycles) (Kesavan *et al.*, 2002; Robinson, 1996). Ainsi, conduire une culture à une trop forte densité peut être inadapté à l'augmentation de la production et du rendement annuel (Kesavan *et al.*, 2002). Cependant, selon Daniels *et al.*, (1987), la productivité de la culture peut augmenter linéairement avec l'augmentation de la densité jusqu'à un certain seuil sans affecter les caractéristiques morphologiques de la banane et la durée du cycle de la culture. En Guadeloupe, les bananeraies sont plantées à une densité allant de 1700 à 2000 plants/ha. Afin de compenser les contraintes économiques liées à la conduite d'une culture sur un cycle, il est proposé d'augmenter la densité de plantation. Il est donc nécessaire dans un premier temps de déterminer la densité optimale de plantation (qui permettra en tout point d'augmenter le rendement). L'espacement adéquate entre les plants ainsi qu'un équilibre entre les paramètres économiques, les paramètres de gestion et les paramètres environnementaux doivent être déterminés (Kesavan *et al.* 2002). Pour ce faire, deux parcelles expérimentales d'une densité de 1500 et de 4126 plants/ha ont été mises en place. Le protocole expérimental est répertorié en annexe 7. Cet essai devrait permettre d'évaluer l'effet de la densité sur la productivité en émettant l'hypothèse forte d'une relation linéaire entre la densité, la taille des doigts, le poids des régimes et la hauteur des bananiers. Dans chaque traitement, des mesures ont été effectuées sur 20 bananiers sélectionnés. À la floraison, la hauteur et la circonférence à 1m des pseudotrons, le nombre de doigts par régime ainsi que la date de floraison ont été mesurés. À la récolte, la date de récolte, le poids des régimes, le grade ainsi que la longueur et le poids des doigts de la main 3 ont été mesurés. Ces données ont été transmises par le Cirad Guadeloupe lors de l'atteinte du stade récolte par les bananiers, aux environs de la première semaine du mois de juillet. Pour déterminer les effets de la densité sur les caractéristiques de croissance, morphologiques et agronomiques du bananier, les données mesurées (cf annexe 8-1 et 8-2) sur les individus pour chaque caractéristiques et aux deux densités, ont été moyennées. Enfin, en déterminant la valeur de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la droite de régression linéaire entre les deux densités de référence et pour chaque caractéristiques étudiées, il a été possible d'estimer l'effet des densités intermédiaires sur ces dernières et donc d'estimer la densité optimale de plantation. Les feuilles de calculs sont répertoriées en annexe 9.

Le calcul des indicateurs économiques et agro-environnementaux pour les divers prototypes de système de culture rend l'évaluation de leur performance complexe. Ainsi dans cette étude, les indicateurs seront calculés à l'aide d'un modèle. Ce modèle devrait permettre d'évaluer et d'optimiser plus aisément les systèmes de culture innovants proposés.

#### **4. Construction d'un modèle d'aide à l'évaluation**

L'objectif est de construire un outil de simulation technico-économique des systèmes de culture de banane. La construction du modèle a été influencée par les objectifs déterminés pour ces systèmes et par les indicateurs d'évaluation qui les qualifient (cf tableau 6 ci-contre). En effet l'adéquation entre les objectifs et la nature des sorties du modèle est primordiale. Le modèle qui a été construit est un outil informatique qui doit permettre de caractériser les différents prototypes de systèmes de culture proposés en calculant leurs performances technico-économiques en fonction de leurs caractéristiques internes et de l'itinéraire technique qu'ils mettent en œuvre. A terme, le modèle permettra d'évaluer l'effet de changements de techniques et de pratiques culturelles sur les composantes économiques et agro-environnementales des systèmes de cultures (cf figure 9 ci-contre). Dans cette étude, l'effet d'une conduite de la culture sur un seul cycle, de l'introduction de plantes de service dans l'agrosystème (effet sur la gestion de la fertilisation azotée et des ravageurs, sur les techniques de gestion) et d'une augmentation de la densité de plantation (effet sur les caractéristiques agronomiques/ morphologiques et les besoins nutritionnels des bananiers) ont notamment été évalués.





#### 4.1. Entrées et sorties du modèle.

##### ➔ Paramètres d'entrée du modèle :

Les caractéristiques agronomiques et morphologiques des bananiers ainsi que leurs besoins nutritionnels ont été répertoriés. L'effet de la densité sur les caractéristiques et les besoins du bananier peut être simulé à l'aide des équations des droites de régression linéaire et des calculs d'estimation des besoins, établis à partir de la biomasse des bananiers, enregistrés dans le modèle. Les caractéristiques des plantes de service (quantité d'azote restituée, densité de plantation/ha) ont également été enregistrées.

Les opérations culturales faisant parties de l'itinéraire technique des systèmes de culture conventionnels ainsi que des opérations innovantes ont également été répertoriées dans le modèle (Semis de plantes de service, plantation de plantes de service, arrachage de rejets, trouaison pour les rejets). Chaque opération culturale est décrite par sa fréquence d'occurrence, les quantités d'intrants employés par plants et par hectare et les temps de travaux associés, calculés par hectare ou par plant. Enfin, les divers coûts liés à la conduite des systèmes de cultures conventionnels et innovants, coût de la main d'œuvre/jour (8 heures de travail), coût des produits phytosanitaires et des prestations, sont aussi répertoriées.

##### ➔ Les sorties du modèle sont :

La production moyenne/ha : Elle est calculée à partir des production/cycle, de l'occurrence des cycles dans la rotation et est estimée pour chaque densité de plantation.

Les coûts de production/ha : Ils sont calculés à partir des coûts de production des phases de la rotation (Phase culturale, phase de jachère, phase d'interculture, premier cycle de culture..) de l'occurrence de chaque phase dans la rotation. Ils sont estimés en fonction de la densité de plantation. Un coût de revient par tonne est également calculé.

Les critères morphologiques décisifs pour la conduite de la culture (hauteur des pseudotracis) et la commercialisation des fruits (longueur et grade) sont également répertoriés en sortie.

Enfin, les fréquences de traitement/ha et de charge azotée/ha sont calculés à partir des fréquences de traitement et des charges azotées appliquées par phase et par cycle, de l'occurrence de chaque phase et de chaque cycle dans la rotation, et de la durée de la rotation.

#### 4.2. Paramétrage, structure et fonctionnement du modèle

Afin de paramétrer le modèle et d'élaborer divers prototypes de systèmes de culture à évaluer (conventionnel et innovants), il a été nécessaire dans un premier temps, de comprendre le fonctionnement des systèmes de culture et de déterminer les besoins et les contraintes de la culture, abordés dans la première partie du rapport. Ensuite, les différentes pratiques et techniques associées à cette culture ont été relevées et étudiées. Pour ce faire, des visites chez les grands planteurs du Sud de Basse-terre (Guadeloupe) et des rencontres avec des ingénieurs de l'IT<sup>2</sup> et de l'UGPBAN et des techniciens du Cirad ont été effectuées. Des pratiques et des techniques innovantes ont également pu être relevées. Pour chaque opération mises en place au cours du cycle de culture, les fréquences d'interventions, les temps de travaux, les quantités d'intrants, les prestations (affranchies des coûts carburant) et les coûts qui y sont associés ont été répertoriés. Les données répertoriées concernent seulement les opérations mises en place au cours du premier et deuxième cycle de culture. En effet, il est considéré que le comportement du bananier se stabilise à partir du deuxième cycle et requiert pour les trois derniers cycles de culture, les mêmes opérations mises en place au cours du deuxième cycle. Certaines opérations sont encore rémunérées à la tâche. Il a donc fallu évaluer pour chaque opération, les temps de travaux associés par plant. Cette estimation des temps de travaux par plants permet d'évaluer l'impact d'une augmentation de densité sur les coûts en main d'œuvre. Il aurait également été intéressant d'évaluer les variations du temps de déplacement dans la parcelle en fonction des densités et de les coupler au temps de travail (par manque de temps, ce travail n'a pu être effectué).

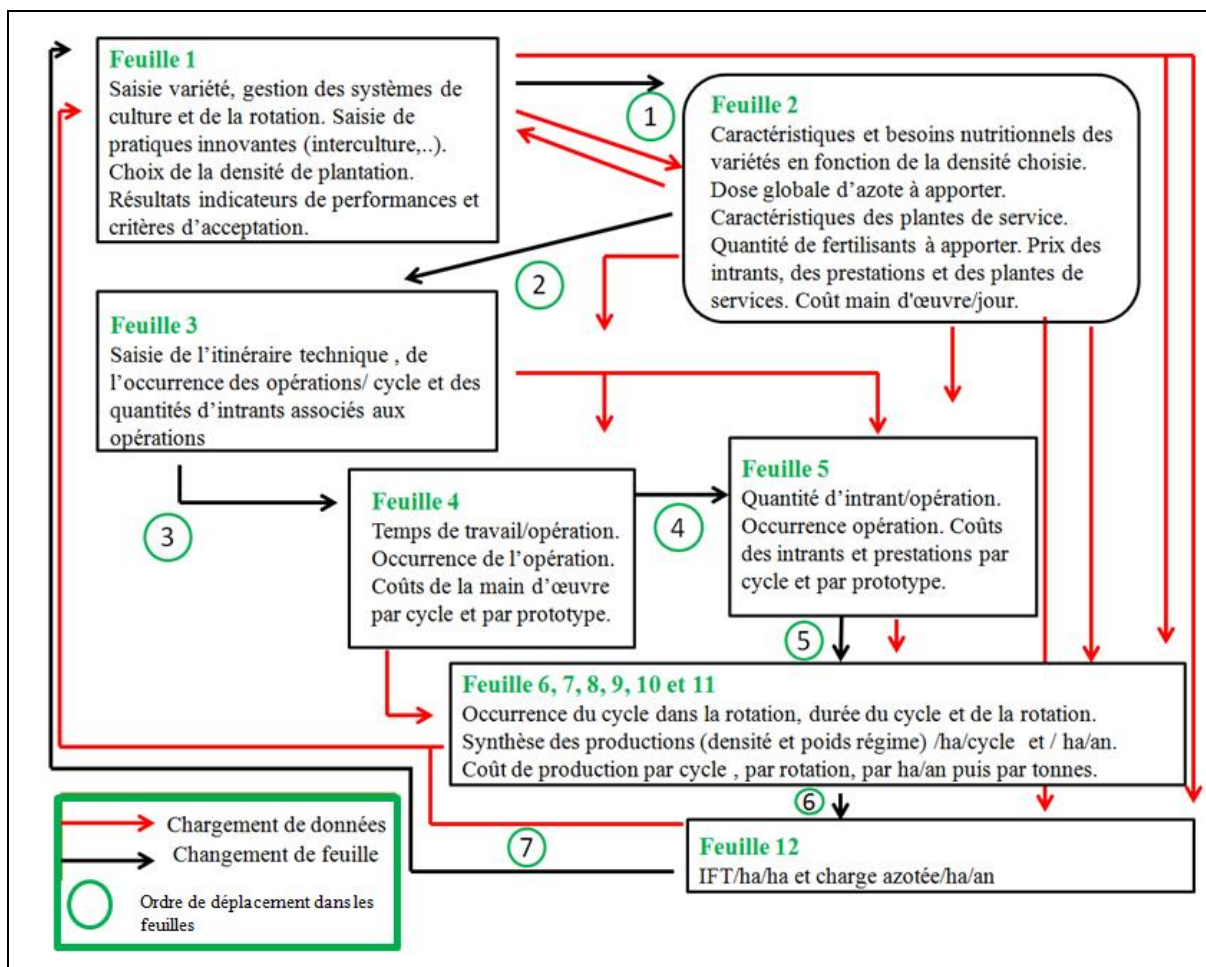


Figure 10 : Structure et fonctionnement du modèle.

## ➔ Structure et fonctionnement du modèle.

Le modèle se présente sous la forme d'un fichier Excel, comportant 12 feuilles (cf figure 10 ci contre) :

- **Feuille 1 Gestion des prototypes** (annexe 10): La première feuille peut être considérée comme l'entrée et la sortie du modèle. Elle contient les paramètres relatifs à la gestion des systèmes de culture et des rotations culturales. Ces paramètres peuvent être saisis selon le mode de gestion que l'on souhaite appliquer. Il est possible de choisir par prototype, la variété cultivée (variété 902 et 925), la densité de plantation, l'application des cycles de culture (Plantés (1<sup>er</sup> cycle), Rejetons (2<sup>ème</sup> cycle)), d'une phase de jachère ou une phase d'interculture et leurs fréquences d'occurrence dans la rotation. Il est également possible d'effectuer au sein des cycles de culture, le choix d'une plantation à partir de vitroplants ou de rejets. Cette feuille contient également un tableau où sont synthétisés les indicateurs des performances économiques et agro-environnementales des systèmes évalués mais également les critères morphologiques d'acceptation (grade et longueur des doigts et hauteur des bananiers). L'objectif est de pouvoir mettre en place certaines pratiques et de visualiser directement quels en sont les effets.

- **Feuille 2 Caractéristique agronomiques et besoins nutritionnels des bananiers, caractéristiques des plantes de services et prix des opérations** (Annexe 11) : Cette feuille contient les paramètres qui vont être activés par les choix effectués dans la première feuille. Les données contenues dans cette feuille sont relatives aux caractéristiques agronomiques et morphologiques des bananiers des deux variétés et à leurs besoins nutritionnels en fonction de la densité choisie. La dose globale d'azote à apporter par cycle est calculée en fonction. Les caractéristiques des plantes de service, leur coût au kilo, la densité de plantation nécessaire et les quantités d'azote/ha qu'elles restituent sont également répertoriées dans cette feuille. Les coûts des différents intrants, des prestations et d'une journée de main d'œuvre y sont référencés. Cette feuille permet d'actualiser les valeurs des prix des intrants et des prestations.

- **Feuille 3 Saisie de l'itinéraire technique** : Dans cette feuille, des opérations culturales conventionnelles et innovantes sont répertoriées pour toutes les phases de la rotation d'un prototype de système de culture. Les intrants qui y sont associés sont également enregistrés. Cette feuille permet de choisir l'itinéraire technique mis en place par prototype, l'occurrence des opérations dans la phase culturale et les quantités d'intrant associées.

- **Feuille 4 et 5 Calcul des coûts en intrant et main d'œuvre** : Les feuilles 4 et 5 sont des feuilles de calcul des coûts liés à la main d'œuvre, aux intrants et aux prestations. Lors du choix des opérations, de leur occurrence et des quantités d'intrants associées, les temps de travaux, calculés par hectare/jour ou par plant/jour ainsi que les quantités totales d'intrants/ha et leur coût sont enregistrés pour chaque phase d'un prototype.

- **Feuille 6, 7, 8, 9, 10 et 11** (Annexe 12) : Ces feuilles sont les synthèses de chacun des prototypes testés. La production est calculée pour tous les cycles culturaux, en fonction de la densité de plantation et des poids régime. L'occurrence des cycles dans la rotation est également référencée. Les productions par cycle sur les parcelles d'un hectare sont sommées (production totale pour une rotation) puis divisées par le nombre de phases présentes dans la rotation afin d'obtenir une production (brute) moyenne par hectare. Dans ces feuilles, les coûts de production sont synthétisés par phase et (jachère ou interculture, et cycles de culture) et classés par intrant, prestation et main d'œuvre. Enfin les coûts totaux par phase sont sommés pour obtenir un coût total de la rotation, puis un coût moyen/ha en divisant par le nombre de phases de la rotation. Enfin, les coûts sont répertoriés par tonne pour chacun des prototypes en divisant les coûts moyens/ha par la production moyenne/ha.

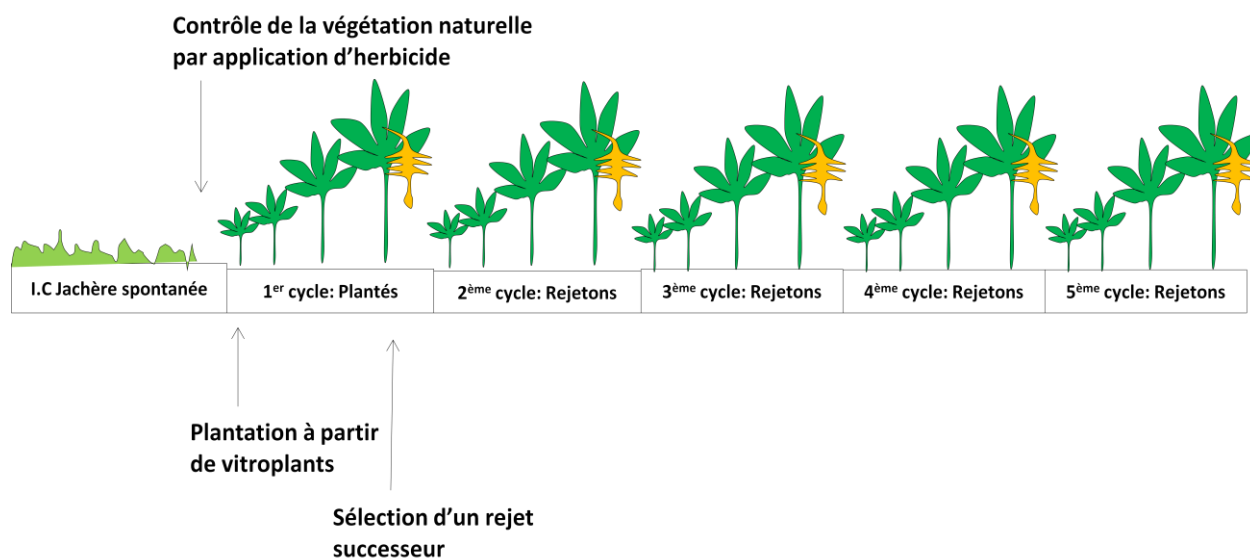


Figure 11 : Système de culture conventionnel (Prototype 1 et 2)

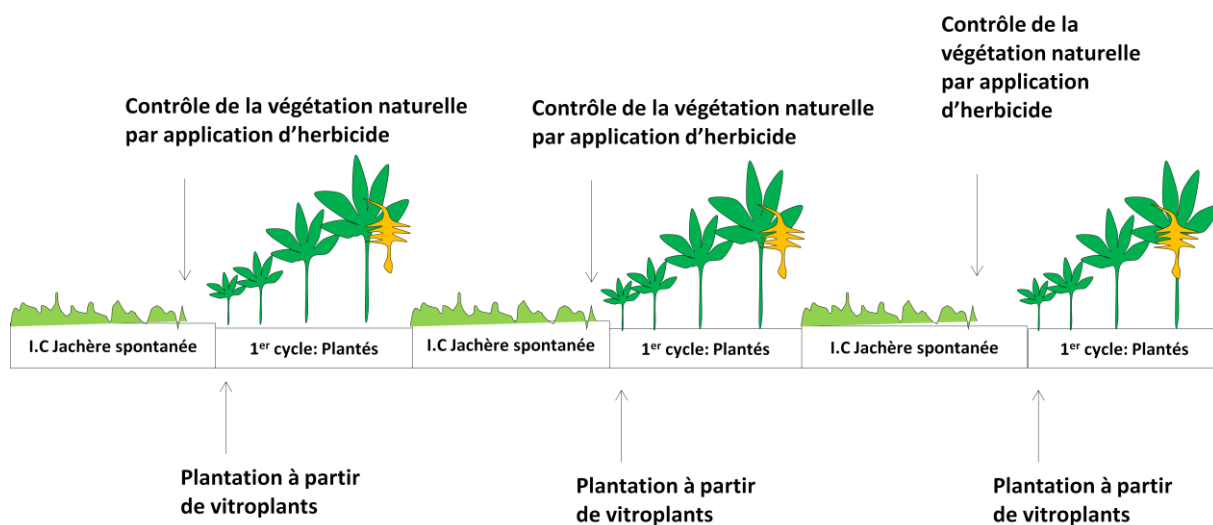


Figure 12 : Système de culture innovant basé sur la culture de la variété FlohrBan 925 (Prototype 3).

**-Feuille 12** (Annexe 13 et 14) : Dans cette feuille, les indicateurs permettant d'estimer les impacts environnementaux des prototypes sont calculés. Pour chacun des prototypes, l'IFT est calculé pour chacune des phases de la rotation puis sommé sur l'ensemble de la rotation et divisé par le nombre d'années de la rotation permettant d'obtenir un IFT moyen /ha/an. En fonction de chaque opération mise en place, leur occurrence dans le cycle, les doses totales d'un produit appliquées/ha et les doses homologuées pour ce produit sont répertoriées. En ce qui concerne la charge moyenne d'azote appliquée par hectare et an, elle est également calculée pour chacun des prototypes, par la somme des quantités de fertilisant apportées par cycle (sur une parcelle d'un hectare), divisées par le nombre d'année de la rotation. Les besoins azotés par plants, les quantités globales d'azote à apporter/ha, les quantités d'azote restituées/ha par les plantes de service ainsi que les quantités totales de fertilisants à apporter/ha, sont référencées.

A la saisie des paramètres de gestion du système de culture (feuille 1) et de l'itinéraire technique (feuille 3), les indicateurs de performances choisis sont affichés dans la feuille de résultats (feuille 1). La saisie de différentes pratiques et techniques s'effectue par un choix binaire (0 ou 1).

## **5. Prototypes de systèmes de culture innovants proposés à évaluer.**

Cinq prototypes de système de culture ont été élaborés et évalués à l'aide du modèle, de « la destruction de la culture précédente » au « régime pendant ». A travers l'évaluation de ces prototypes, il est possible d'évaluer les effets de changements de pratiques culturales et de techniques sur les composantes économiques et agroenvironnementales.

Prototype 1 : Système de culture conventionnel basé sur la culture de la variété Grande naine 902. Ce système est composé d'une phase de jachère spontanée et de cinq cycles de culture : un premier cycle « Plantés vitroplant » où la plantation se fait à partir de vitroplants et quatre cycles « Rejetons » établis à partir des sorties de rejets. La densité de plantation est de 1800 plants/ha. (cf figure 11 ci contre). Les caractéristiques des bananiers ont été répertoriées à partir de la fiche technique de la variété 925. L'itinéraire technique de ce prototype est détaillé en annexe 15.

Prototype 2 : Système de culture conventionnel basé sur la culture de la variété FlohrBan 925. Ce système est conduit de la même façon que le prototype 1. Il est donc également composé d'une phase de jachère spontanée et de cinq cycles de production (dont un cycle « Plantés vitroplants » et quatre cycles « Rejetons ») La plantation des bananiers est effectuée à partir de vitroplants à une densité de 1800 plants/ha. Dans ce prototype, on s'affranchit de la difficulté à cultiver les bananiers de plus de 3m en deuxième cycle (légalisation du travail et temps de travail plus important) (cf figure 11). Les caractéristiques des bananiers ont été répertoriées à partir de la fiche technique de la variété 925. L'itinéraire technique de ce prototype est détaillé en annexe 16. Ici l'on souhaite évaluer les effets de la mise en place d'une culture à partir d'une variété résistante aux cercosporioses.

Prototype 3 : Système de culture innovant basé sur la culture de la variété FlohrBan 925. Dans ce prototype, il est proposé de conduire la culture sur un seul cycle de production après une phase de jachère spontanée. La rotation sera donc composée d'alternance entre des phases de jachère (3 phases) et des phases culturales (trois cycles « Plantés vitroplants ») La densité de plantation est de 1800 plants/ha. Il est également proposé d'augmenter cette densité jusqu'à une densité optimale (cf figure 12 ci contre). L'itinéraire technique de ce prototype est détaillé en annexe 17. Ici l'on souhaite évaluer les effets de la mise en place d'une culture avec replantation annuelle, alternée avec une phase de jachère.

Prototype 4 : Système de culture innovant basé sur la culture de la variété FlohrBan 925 et l'introduction de plantes de service comme culture intercalaire. Dans ce prototype, la culture est également conduite sur un seul cycle de production, après une phase d'interculture où sont introduites les plantes de service sélectionnées. La rotation est composée d'alternance entre des phases d'interculture (3 phases) et des cycles de culture (trois cycles « Plantés vitroplants »). Les plantes de service introduites comme culture intercalaire sont détruites en fin d'interculture. Les bananiers sont plantés à une densité de 1800 plants/ha sur un mulch. La densité de plantation peut être également être

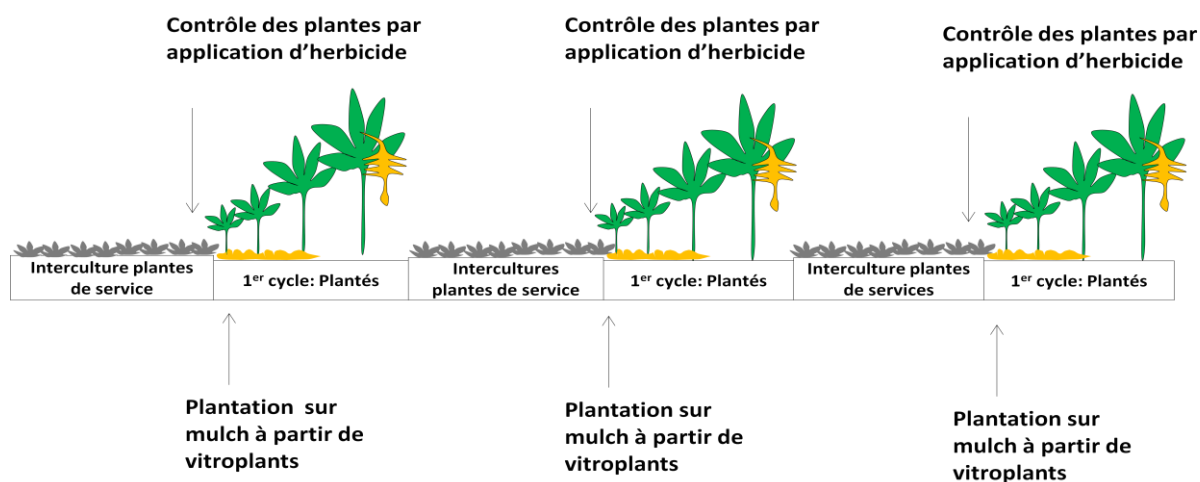


Figure 13 : Système de culture innovant basé sur la culture de la variété FlohrBan 925 et l'introduction de plante de service comme culture intercalaire (Prototype 4).

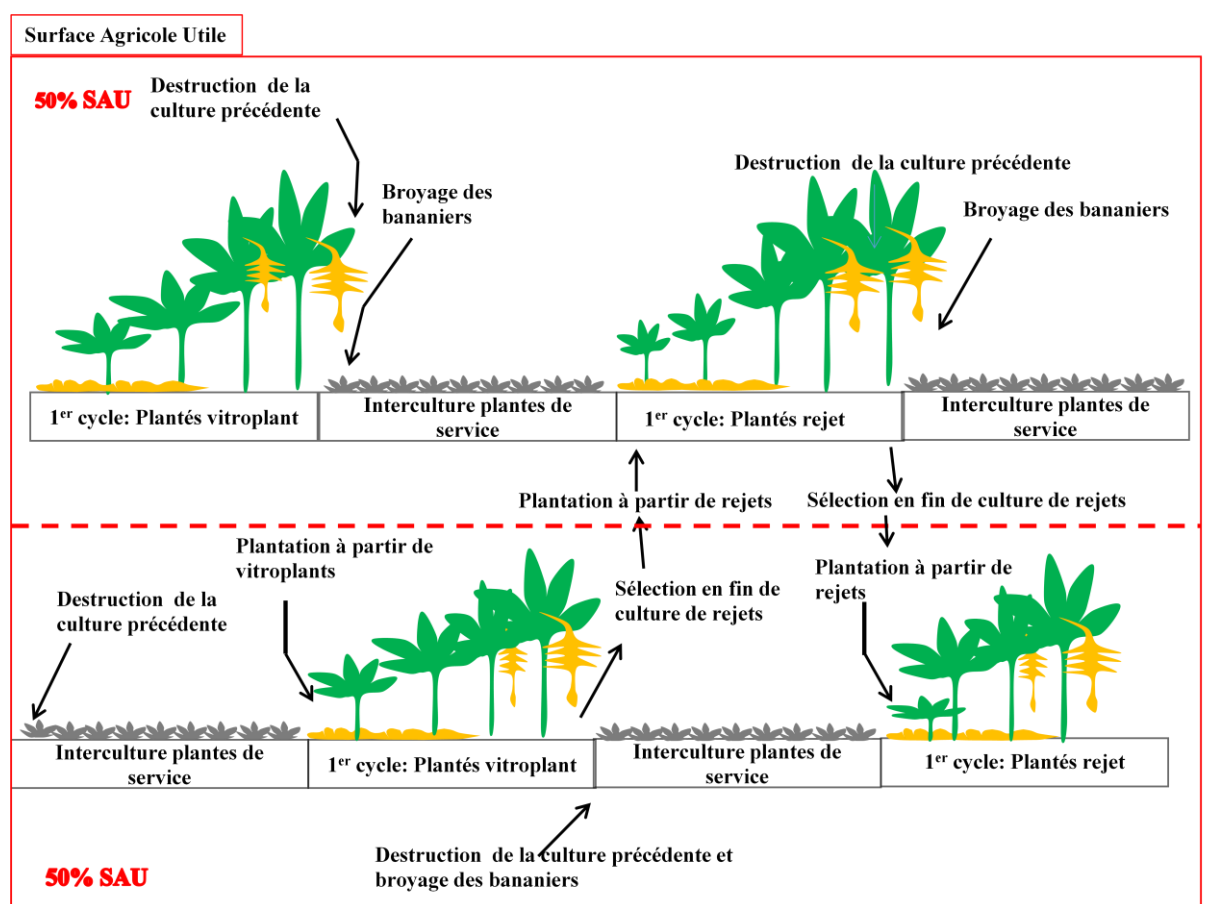


Figure 14 : Système de culture innovant proposé, replantation de la bananeraie à partir de rejets sur mulch.

augmenté jusqu'à une densité optimale. (cf figure 13 ci contre). L'itinéraire technique de ce prototype est détaillé en annexe 18. Ici, l'on souhaite évaluer les effets de l'introduction de plantes de service dans le système de culture.

Prototype 5 : Système de culture innovant basé sur la culture de la variété FlohrBan 925 et l'introduction de plantes de service comme culture intercalaire. Dans ce prototype, il est proposé de conduire le système de la même façon que le prototype 4. La rotation est composée de trois phases d'intercultures alternées avec trois cycles de culture « Plantés vitroplants ». Des plantes de service seront introduites comme culture intercalaire puis détruites en fin d'interculture. Pour la première année de culture, les bananiers seront plantés sur mulch à partir de vitroplants. Cependant, il est proposé pour la deuxième et troisième année de culture, d'effectuer une plantation à partir de rejets sélectionnés tardivement (à la fin du cycle). Ces rejets peuvent être sélectionnés à partir de cultures établies sur l'autre partie de la SAU Cette technique, qui a été pratiquée avant la mise en place des vitroplants est proposée compte tenu de l'assainissement prophylactique réalisé entre chaque cycle de culture, de la tolérance de la variété 925 aux nématodes, et du fait que la culture soit conduite sur un seul cycle. Les bananiers de la variété 925 présentent en deuxième cycle une hauteur du pseudotrunc importante. Cela est dû à un effet d'hétérosis mais également à l'approvisionnement en ressources effectuées par le pied mère. Lorsque le jeune rejet est arraché au pied, le rejet ne bénéficie pas de ces ressources et garde une taille correcte. La densité de plantation variera jusqu'à la densité optimale (cf figure 14 ci contre) L'itinéraire technique de ce prototype est détaillé en annexe 19.

### **III. Evaluation des systèmes de culture innovants et discussion**

#### **1. Effet de la densité sur les caractéristiques agronomiques et morphologiques des bananiers.**

Comme il a été mentionné précédemment (cf partie II.3), certaines des caractéristiques morphologiques et agronomiques des bananiers sont influencées par les variations de la densité. Ces effets ont été évalués à l'aide des expérimentations mises en place sur le site de Neufchâteau et peuvent être observés à partir des figures 15, 16, 17 et 18 et à l'aide du tableau 7. Concernant les paramètres morphologiques des fruits, on observe notamment une diminution du grade et de la longueur des doigts avec l'augmentation de la densité. A une densité de 1800 plants/ha, les fruits produits présentent un grade de 3.9 cm et une longueur de 23.4cm. Lorsque la densité de plantation est de 4162 plants/ha les fruits présentent en moyenne un grade de 3.4 cm et une longueur de 20.9 cm (cf figure 15). On observe également que le poids des régimes suit la même tendance (pour un même nombre de main par régime). On passe d'un poids régime de 27 kg pour 1800 plants /ha à 19.2 kg pour 4162 plants/ha. Cela s'explique, notamment par la diminution de la taille des doigts. Avec une augmentation de la densité (augmentation du nombre de plants producteurs), on observe une augmentation du tonnage/ha (de 48 tonnes pour 1800 plants/ha à 80 tonnes pour 4162 plants/ha, en émettant l'hypothèse que tous les plants soient producteurs et qu'il n'y ait aucune verse) (cf figure. 16), ainsi qu'une augmentation de la hauteur des pseudotrons (2.65m pour une densité de 1800plants/ha et 3.24m pour une densité de 4162 plants) (cf figure 17). Enfin, contrairement aux observations faites par Kesavan *et al.*, (2002), la densité semble peu influencer la durée des cycles. En effet, on observe une durée de cycle plus importante de 10 jours lorsque la culture est conduite à une densité de 4162 plants/ha, par rapport à une densité de 1800 plants/ha (cf figure 18).

Certaines de ces caractéristiques sont décisives pour la commercialisation des fruits et pour la conduite de la culture. En effet, pour être acceptés sur le marché, les fruits doivent correspondre aux critères morphologiques actuels (basés sur la variété grande naine: une longueur supérieure à 16 cm et un grade supérieur à 2.9 cm). Enfin, pour conduire la culture, la taille des bananiers ne doit pas être supérieure à 3m de hauteur, afin de limiter les risques de verse durant la période cyclonique, de ne pas augmenter de façon trop importante le temps de travail et pour correspondre à la législation du travail. Il semble donc important dans un premier temps d'adapter la densité en fonction de ces caractéristiques. D'après les résultats obtenus et les critères morphologiques d'acceptation, la taille des doigts ne semble pas imposer de limite pour l'augmentation de la densité contrairement à la hauteur des pseudotrons. En suivant cette logique, s'il on peut augmenter la densité sans trop augmenter le coût de revient, alors la densité optimale sur le plan agronomique serait de 3000 plants/ha.

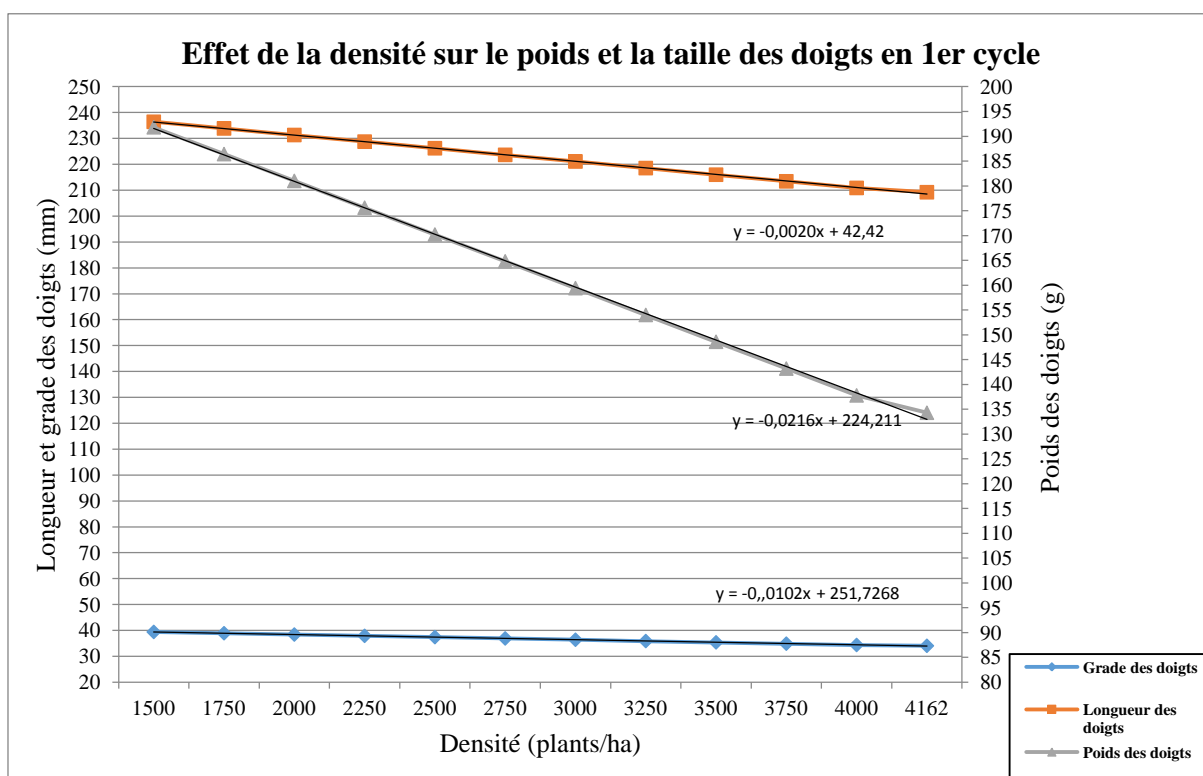


Figure 15 : Effet de la densité sur la taille, le grade et le poids des doigts

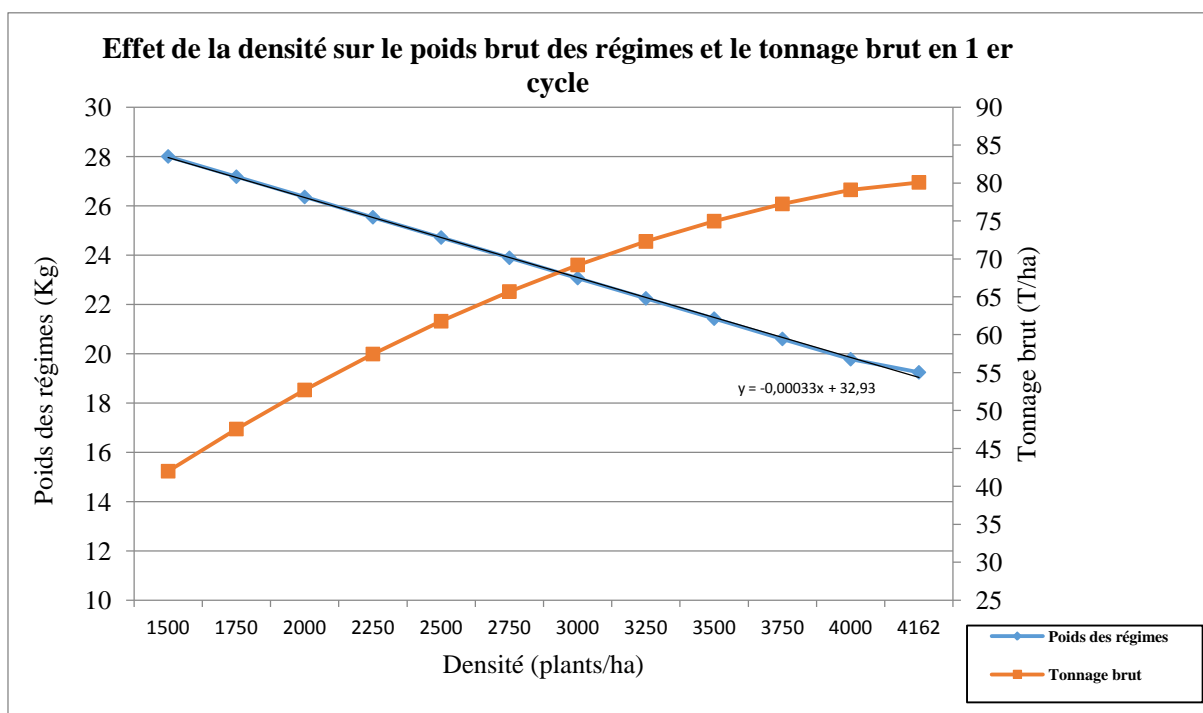


Figure 16: Relation en la densité, poids brut des régimes et le tonnage brut en 1<sup>er</sup> cycle.



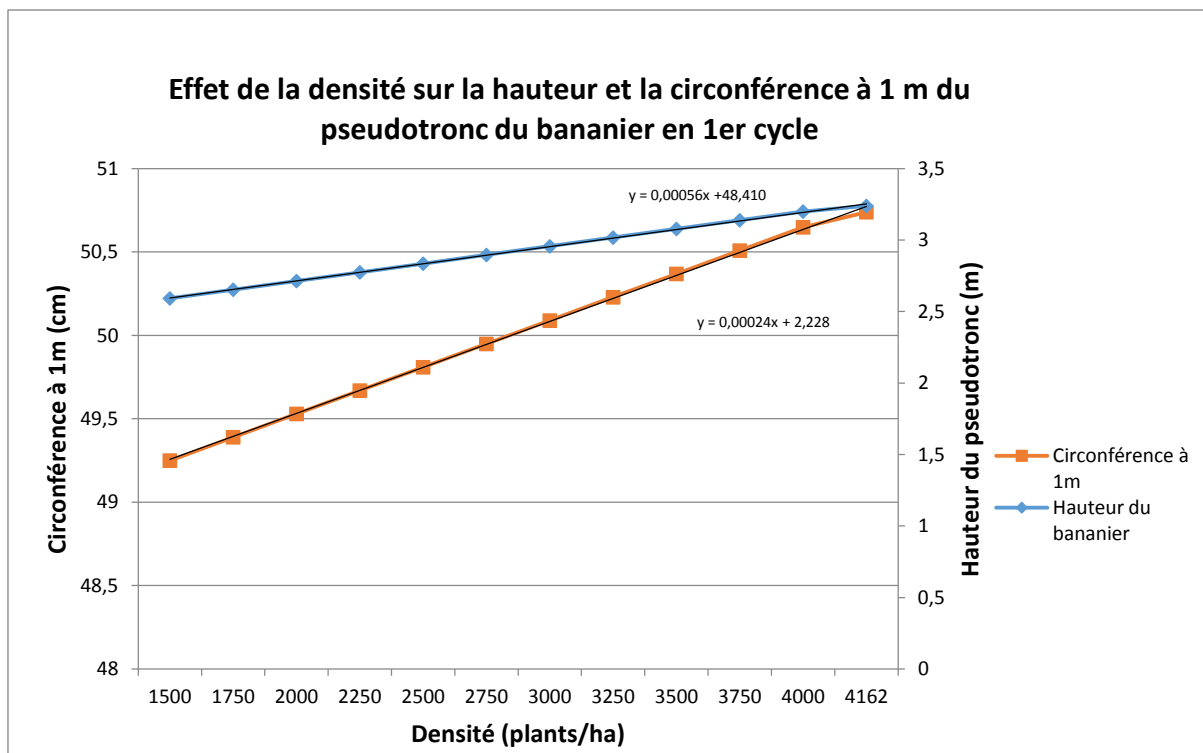


Figure 17: Effet de la densité sur la hauteur et la circonférence à 1 m du pseudotrunc du bananier en 1<sup>er</sup> cycle.

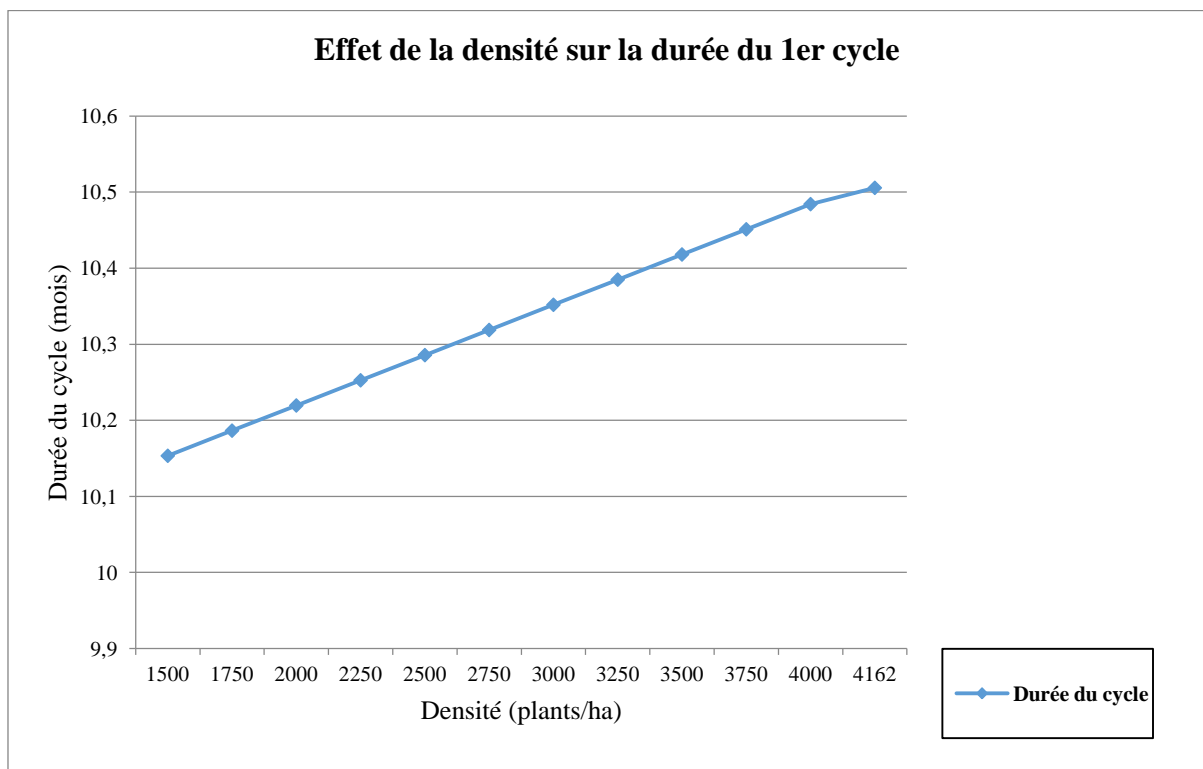


Figure 18 : Effet de la densité sur la durée du 1<sup>er</sup> cycle

Tableau 7 : Effet de la densité sur les caractéristiques agronomiques et morphologiques des bananiers.

Densité	Grade des doigts interne/externe (mm)	Longueur des doigts interne/externe (mm)	Poids des régimes (kg)	Tonnage moyen brut /ha (t)	Durée moyenne du cycle (mois)	Hauteur du bananier à la floraison (m)
1750,00	38,90	233,85	27,18	47,56	10,19	2,65
2000,00	38,39	231,29	26,35	52,71	10,22	2,71
2250,00	37,89	228,74	25,53	57,45	10,25	2,77
2500,00	37,39	226,18	24,71	61,77	10,29	2,84
2750,00	36,88	223,63	23,89	65,69	10,32	2,90
3000,00	36,38	221,07	23,06	69,19	10,35	2,96
3250,00	35,88	218,52	22,24	72,29	10,38	3,02
3500,00	35,37	215,96	21,42	74,97	10,42	3,08
3750,00	34,87	213,41	20,60	77,24	10,45	3,14
4000,00	34,37	210,86	19,77	79,10	10,48	3,20
4162,00	34,04	209,20	19,24	80,08	10,51	3,24

Tableau 8 : Indicateur de performances économiques à différentes densités et pour chacun des prototypes évalués.

Prototype 1				Prototype 2			Prototype 3		
Densité	Production brute moyenne	Cout de production moyen	Coût de revient	Production brute moyenne	Cout de production moyen	Coût de revient	Production brute moyenne	Cout de production moyen	Coût de revient
Unité	Tonnes/Ha	€/ha	€/Tonne	Tonnes/Ha	€/ha	€/Tonne	Tonnes/Ha	€/ha	€/Tonne
1800,00	48,00	9 706,83 €	202,23	41,10	7 825,56 €	190,40	24,31	7436,94	305,90
2000,00							26,35	8113,96	307,87
2250,00							28,72	8960,22	311,94
2500,00							30,89	9806,49	317,49
2750,00							32,84	10652,75	324,34
3000,00							34,60	11499,02	332,37
3250,00							36,14	12345,28	341,57
3500,00							37,48	13191,54	351,93
3750,00							38,62	14037,81	363,50
4000,00							39,55	14884,07	376,35

	Prototype 4			Prototype 5		
	Production brute moyenne	Cout de production moyen	Coût de revient	Production brute moyenne	Cout de production moyen	Coût de revient
Densité	Tonnes/Ha	€/ha	€/Tonne	Tonnes/Ha	€/ha	€/Tonne
1800,00	24,31	7466,59	307,12	24,31	6574,87	270,44
2000,00	26,35	8150,57	309,26	26,35	7159,77	271,67
2250,00	28,72	9005,55	313,52	28,72	7890,90	274,72
2500,00	30,89	9860,53	319,24	30,89	8622,03	279,15
2750,00	32,84	10715,50	326,25	32,84	9353,15	284,77
3000,00	34,60	11570,48	334,44	34,60	10084,28	291,48
3250,00	36,14	12425,46	343,79	36,14	10815,40	299,24
3500,00	37,48	13280,43	354,30	37,48	11546,53	308,04
3750,00	38,62	14135,41	366,02	38,62	12277,66	317,92
4000,00	39,55	14990,38	379,04	39,55	13008,78	328,93

Cependant, la fiabilité des relations trouvées doit être vérifiée. En effet, c'est à partir d'essais à seulement deux densités (1500 et 4162 plants/ha) que ces relations ont été établies. De plus, les mesures relatives à certaines caractéristiques (grade et longueur de doigts) ont été relevées seulement sur cinq individus. Des essais à de multiples densités, ainsi que des mesures sur un nombre plus important d'individus devraient être mis en place afin d'augmenter la fiabilité des relations entre la densité de plantation et les caractéristiques des bananiers.

Une augmentation importante de la densité pourrait se montrer avantageuse dans d'autres domaines. L'augmentation des plants/ha augmente l'obscurité sous la parcelle. Une diminution de la pression adventice pourrait être observée. Le suivi des populations adventices a été mis en place par le Cirad. Il est maintenant nécessaire de vérifier si cette densité optimale sur le plan agronomique s'accorde avec les exigences économiques (évaluation du temps de travail et des coûts en intrant) et environnementales (évaluation des besoins en intrant) assignées aux systèmes de cultures innovants.

## **2. Evaluation des performances économiques et agro-environnementales**

L'évaluation des performances économiques de chaque prototype de système de culture innovant a été effectuée en référence au système de culture conventionnel. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 9. Ce tableau permet de comparer les composantes économiques des différents prototypes en fonction des densités. Les prototypes 1 et 2 ne sont étudiés que pour une densité à 1800 plants/Ha car l'effet de la densité sur les caractéristiques des bananiers en 2<sup>ème</sup> cycle de culture (rejets), n'a pas été évalué.

L'évaluation de ces prototypes a permis d'estimer l'impact des pratiques innovantes sur les composantes économiques et environnementales, et plus particulièrement l'effet d'une culture basée sur une variété résistante aux cercosporioses, l'effet de la conduite de la culture sur une seule année, l'effet de l'introduction de plantes de service dans l'agrosystème et l'effet d'une plantation à partir de rejets par rapport aux vitroplants.

**Prototype 1 :** Les systèmes de culture conventionnels basés sur la variété 902 produisent en moyenne 48 T/ha avec un coût de production de 9706,83 €/ha et un coût de revient de 202,23 €/T. En ce qui concerne les performances environnementales, ce système est caractérisé par un IFT de 36.37 et une charge azotée de 285.71 kg/ha/an.

**Prototype 2 :** Au niveau des composantes économiques et environnementales, ce système de culture présente plus d'avantages que le prototype 1. La culture de cette variété en système conventionnel induit une diminution du coût moyen de production, du coût de revient et de l'IFT. Ces avantages sont liés à certaines caractéristiques de la variété, notamment à sa résistance aux cercosporioses. Cette résistance permet de réduire les coûts liés à la main d'œuvre et aux intrants nécessaires pour la gestion de ces ravageurs. Ce prototype présente cependant un indicateur de charge azotée plus important que prototype 1. En effet, la variété 925 présente des besoins azotés plus importants

**Prototype3 :** Ce système de culture présente des performances économiques moindres. En effet, la conduite de la culture sur un seul cycle et la diminution du nombre de cycles de production dans la rotation induisent une diminution de la production et une augmentation du coût de revient de 103,67 €/tonnes par rapport au prototype 1. Cependant, en ce qui concerne la composante environnementale, ce système est plus performant. La résistance de cette variété aux cercosporioses reste présente. De plus, la valeur de l'IFT est réduite car l'on se trouve ici sur un système avec deux années de culture de bananes en moins où les doses homologuées pour les intrants sont plus strictes et entraînent des IFT plus élevés.

Tableau 9 : Indicateur de performances environnementales à différentes densités et pour chacun des prototypes évalués.

	Prototype 1		Prototype 2		Prototype 3	
	IFT	Charge azotée	IFT	Charge azotée	IFT	Charge azotée
Densité	/ha/an	( kg/ha/an)	/ha/an	( kg/ha/an)	/ha/an	( kg/ha/an)
1800	36,37	285,71	6,74	582,79	3,42	242,61
2000					3,47	269,24
2250					3,54	302,45
2500					3,60	335,55
2750					3,66	368,56
<b>3000</b>					3,72	401,47
3250					3,78	434,28
3500					3,85	467,00
3750					3,91	499,62
4000					3,97	532,14

	Prototype 4		Prototype 5	
	IFT	Charge azotée	IFT	Charge azotée
Densité	/ha/an	( kg/ha/an)	/ha/an	( kg/ha/an)
1800	2,97	184,48	2,97	184,48
2000	3,02	211,18	3,02	211,18
2250	3,09	244,48	3,09	244,48
2500	3,15	277,67	3,15	277,67
2750	3,21	310,76	3,21	310,76
<b>3000</b>	3,27	343,76	3,27	343,76
3250	3,34	376,66	3,34	376,66
3500	3,40	409,46	3,40	409,46
3750	3,46	442,16	3,46	442,16
4000	3,52	474,77	3,52	474,77

Concernant la charge azotée, cette dernière se retrouve également réduite (242,61 kg/ha/an) par rapport au prototype 1, du fait des deux années de culture de bananes remplacées par des phases d'interculture.

**Prototype 4 :** Sur le plan environnemental, l'IFT et la charge azotée diminuent par rapport aux prototypes précédents (IFT de 2,97 et charge azotée de 184,48 Kg/ha/an). On peut attribuer cette diminution au couvert de plantes de service. Les plantes fixatrice d'azote ont permis d'apporter une certaine quantité d'azote pour la culture de bananes suivante et l'ensemble du couvert a permis de diminuer la pression des adventices et donc de réduire l'utilisation de pesticide. Cela vient renforcer l'importance du rôle que peuvent jouer les plantes de service fixatrice d'azote.

Cependant, malgré les économies que peuvent apporter les plantes de service, l'on constate que le prototype 4 n'est pas plus avantageux que le prototype 3. Ceci peut s'expliquer par les dépenses en main d'œuvre, en intrants et en prestation pour l'entretien du couvert végétal.

**Prototype 5 :** Si l'on considère les prototypes innovants, le prototype 5 est le plus avantageux sur le plan économique (avec 6574,87 €/ha de cout de production moyen et 270 €/T de cout de revient) et environnemental (l'IFT et la charge azotée sont identiques à ceux du prototype 4). Les économies réalisées avec ce prototype sont dues au fait qu'à partir du deuxième cycle, les nouveaux plants sont issus de rejets sélectionnés, moins coûteux que des vitroplants.

Globalement, les systèmes de culture innovants proposés présentent un coût de revient plus important par rapport aux systèmes de cultures conventionnels et ce, quelque soit la densité mise en place. En effet, dans ces systèmes, les cycles de culture sont en alternance avec des phases d'interculture. La replantation annuelle augmente les coûts de production et le plus faible nombre de cycles de culture dans la rotation induisent une diminution de la production moyenne/ha. L'augmentation de la densité ne permet pas d'augmenter la production de façon assez importante pour pouvoir compenser ce surcoût.

En ce qui concerne la composante économique, le prototype 3 et 4 engendrent le même surcoût. Le prototype 5 présente quant à lui un coût de production et un coût de revient plus intéressant. Il présente les meilleures performances économiques et environnementales. Dans ce prototype, une ablation des rejets au cours du cycle de développement du pied mère jusqu'à la période de sélection du « rejet successeur » pourrait être effectuée et permettrait de diminuer les besoins azotés des pieds mère. En effet, les besoins nutritionnels de la variété 925 sont notamment liés aux importants besoins des rejets. Bien que leur taille importante en deuxième cycle de cultures s'explique en partie par un effet d'hétérosis, elle est également liée à la fourniture de ressources par le pied mère. Ce prototype nécessite cependant d'approfondir les recherches sur la période optimale pour la sélection et l'arrachage du rejet qui sera introduit dans le système pour assurer le deuxième cycle dans la rotation.

En ce qui concerne la composante environnementale, les prototypes 4 et 5 sont les plus performants. Bien que les plantes de service ne permettent pas de diminuer fortement le coût de production dans ce prototype, il serait intéressant d'évaluer l'effet d'une introduction de plantes comme culture intercalaire, puis comme culture associée, en les maintenant vivantes sous couvert bananier. Cette association permettrait de s'affranchir des coûts liés à la plantation et à la destruction des plantes. Ces plantes permettraient également de contrôler les adventices durant la phase culturale et de diminuer l'utilisation d'herbicide. La principale difficulté est de sélectionner la plante adaptée à ce système. En effet, elle doit notamment éviter d'entrer en compétition avec les bananiers pour la lumière, l'eau et les nutriments. Cette plante devra également être fixatrice d'azote, posséder une croissance de développement rapide, tolérer les milieux ombragés et ensoleillés et enfin ne pas être hôte de nématodes (Damour *et al.*, 2013). L'augmentation de la biodiversité végétale au sein des agrosystèmes permettrait d'apporter de multiples services (augmentation de la diversité de prédateurs naturels, amélioration de la structure du sol par augmentation de la diversité racinaire) (Ratnadass *et al.*, 2012 ; Dorel *et al.*, 2012).



Aucun des prototypes ne semble répondre à la fois aux exigences économiques et agro-environnementales. Ce travail permet avant tout de sélectionner parmi les innovations proposées, celles qui semblent être prometteuses et qui pourront être optimisées par la suite. On a vu que le prototype 5 présente les meilleures performances agro-environnementales. Cependant, il reste beaucoup moins intéressant sur le plan économique que le prototype 2 conduit en conventionnel.

Une piste de réflexion, parmi celles citées ci-dessus, peut être de mettre en place des systèmes de cultures composés de cinq cycles de culture en alternance avec une phase d'interculture où des plantes de service seraient introduites comme culture intercalaire. Les cultures seraient conduites sur un seul cycle et nécessiteraient une replantation et une destruction annuelle des bananiers. Dans ce cas, une augmentation de la densité pourrait être mise en place. Les bananiers devront être plantés dans le grand inter rang. En effet les souches de la culture précédente nécessitent un certain laps de temps avant d'être dégradées, même après une pulvérisation au romplow. Il reste nécessaire d'évaluer si cela est compatible avec une augmentation de la densité. La replantation annuelle de la bananeraie peut se faire à partir de rejets dès le deuxième cycle de culture dans la rotation. Dans ce cas et en l'absence d'assainissement prophylactique entre les cultures, des essais doivent être mis en place afin d'évaluer les effets sur les populations de nématodes et leur impact potentiel sur une bananeraie d'un seul cycle.

Enfin, il serait intéressant de pousser l'analyse des performances économiques et agroenvironnementales jusqu'aux étapes suivantes de la chaîne de production, du système de culture au consommateur. En effet, la variété Flohrban 925 possède d'autres caractéristiques qui permettraient de réduire les coûts et l'impact environnemental post-récolte. Les bananes de la variété 925 semblent être moins sensibles aux meurtrissures, cela pourrait permettre de réduire les pertes liées au conditionnement et au transport. Cette variété serait également moins sensible à l'Anthracnose, une maladie d'origine fongique, et nécessiterait moins de fongicides lors des étapes de conditionnement. Enfin, les fruits de la variété 925 peuvent être conservés à des températures moins fraîches lors du transport et nécessitent des quantités d'éthylène moins importantes pour déclencher le murissement. Ces caractéristiques, qui permettent de produire de façon plus « écologiques » font de la Flohrban 925 une variété intéressante qui pourrait bénéficier de subventions européennes et d'un nouveau marché. Cependant, elle possède également quelques contraintes, comme une sensibilité plus importante aux frisures. Des essais expérimentaux doivent encore être mis en place afin d'optimiser la gestion des systèmes de culture et du conditionnement. Enfin, il pourrait être envisagé d'orienter les dates de plantation afin de récolter les régimes durant une période où les prix des marchés sont les plus importants et d'augmenter ainsi la rentabilité du système. Cela peut être simulé et vérifié à l'aide du modèle SIMBA-POP (Tixier et al., 2007)

#### ➔ Limite de la méthode

Les indicateurs ont été mis en place afin d'effectuer une évaluation à priori. Ils ont été développés à titre indicatif pour chaque prototype. La valeur de ces indicateurs a été estimée à partir de différentes recherches et peut varier en fonction des différents choix de gestion des systèmes de culture qui s'offrent aux planteurs et de la zone où ils sont situés (en plaine ou en zone montagneuse, choix des pratiques, des techniques de gestion, outils de travail du sol, type de produits phytosanitaires, quantités utilisées, prix des semences de plantes de service, irrigation). L'étude des différentes pratiques et des techniques associées à cette culture, leur occurrence dans le cycle de la culture et les quantités d'intrants et de main d'œuvre pouvant y être associées ont été relevées à partir d'enquêtes mais ces données variaient de façon importante en fonction de la personne enquêtée. Pour effectuer une étude plus approfondie, il aurait fallu enquêter de façon plus fine auprès d'un échantillon représentatif de producteurs pour une zone géographique. Les planteurs possèdent des fiches de suivis pour chaque intervention et pratiquent de traitements phytosanitaires par parcelle et par cycle.

Lors de l'estimation des indicateurs de performance environnementale, et notamment pour le calcul de l'IFT, il aurait été intéressant de déterminer à partir de quel pourcentage de recouvrement d'une surface donnée par les adventices, un planteur prend la décision d'appliquer un traitement herbicide. Selon (Huchet, 2010), c'est à partir de 30% de recouvrement du sol par les adventices pour le système





Banane-Jachère que les planteurs interviennent. Cela n'est malheureusement pas traduit en fréquence d'intervention par cycle. Des études sur les adventices présentes dans ces systèmes, leurs dynamiques de développement et leurs vitesses de croissance auraient été pertinentes pour déterminer précisément la fréquence des interventions à mettre en place. L'indicateur de fréquence de traitements présente des avantages et des inconvénients. Cet indicateur est précis, facilement calculable et compréhensible. Cependant, il ne tient pas compte des caractéristiques de chaque produit phytosanitaire (toxicité, solubilité) et des caractéristiques du milieu où ces produits sont appliqués.

Enfin, le calcul de l'indicateur de charge azotée a été effectué à l'aide des besoins nutritionnels des bananiers, de la dose globale d'azote à apporter et des quantités d'azote restituées par les plantes de service. Les méthodes d'estimation des besoins nutritionnels des bananiers et de la dose globale d'azote à apporter à une bananeraie mises en place dans cette étude ne sont pas idéales. Il aurait fallu, pour estimer les besoins nutritionnels des bananiers et leurs variations au cours du cycle de développement, effectuer des mesures de biomasse totales produites (fraîches et sèches) et analyser les quantités d'éléments immobilisés par les deux variétés et aux phases où les besoins sont les plus importants. Enfin, pour estimer la dose globale d'azote à apporter, la fréquence des applications et les seuils critiques à leur nutrition en fonction des phases de développement du bananier, une utilisation du modèle SIMBA-N aurait été plus pertinente.

\*



## Conclusion et perspectives

Devant faire face à de multiples contraintes, les acteurs de la profession bananière s'orientent vers la recherche de solutions innovantes. Les systèmes de culture innovants proposés sont en rupture forte avec les systèmes de culture mis en place aujourd'hui. Bien que la variété 925 présente des caractéristiques contraignantes, elle est actuellement la seule innovation adéquate pour faire face à ces contraintes et pour préserver l'avenir de la production sur le marché mondial. De plus, cette variété a déjà été « validée » lors de multiples phases du processus de sélection (critères organoleptiques, durée de vie verte...). Les systèmes de culture innovants proposés semblent être une voie de prospection intéressante. Des essais expérimentaux devraient être mis en place notamment pour évaluer de façon plus précise l'effet de l'introduction des plantes de service dans l'agrosystème et d'une augmentation de la densité. Enfin, il serait intéressant de tester l'effet de certaines pratiques innovantes comme la trouaison mécanique à l'aide d'une tarière, qui permettrait de fortement diminuer les coûts de plantation, et la séparation sur place du rejet et du rhizome. Cette pratique permettrait d'éviter le transfert de ressources du rhizome au rejet et d'obtenir des rejets de taille plus modeste pour conduire la culture sur un deuxième cycle sans replantation du rejet. Ces essais permettraient d'optimiser les systèmes de culture de façon plus approfondie. De plus, en étant moins couteux en intrants, cette variété et les systèmes de culture innovants pourraient permettre aux planteurs de bénéficier de subventions et d'un marché de niche moins concurrentiel. Enfin cette nouvelle variété doit être adoptée par l'ensemble de la filière. A ce niveau, le Cirad et l'ensemble des acteurs de la filière, auront un rôle crucial et en particulier en ce qui concerne la communication avec les groupements et les producteurs, avec les murisseries et les distributeurs.

## Table des illustrations

### Liste des figures

<b>Figure 1 :</b> Evaluation préliminaire ex-ante de la rentabilité du Système de Culture. ....	15.
<b>Figure 2:</b> Concept de plante de service (Ozier-Lafontaine, 2009). ....	17.
<b>Figure 3:</b> Système de culture de référence Banane-Jachère spontanée. ....	19.
<b>Figure 4:</b> Système de culture innovant proposé : « Interculture et plantation de la bananeraie sur mulch ». ....	19.
<b>Figure 5 :</b> Profil fonctionnel requis pour les systèmes de culture « Interculture et plantation des bananiers sur mulch » d'après Damour <i>et al</i> (2013). ....	21.
<b>Figure 6 :</b> Profil fonctionnel de <i>Brachiaria decumbens</i> d'après Damour <i>et al</i> (2013). ....	21.
<b>Figure 7 :</b> Profil fonctionnel de <i>Crotalaria zanzibarica</i> d'après Damour <i>et al</i> (2013). ....	21.
<b>Figure 8 :</b> Démarche de conception et d'évaluation de systèmes de culture (d'après Meynard <i>et al.</i> , 1988 ; Reau et Dore, 2008) (En vert : Situation de l'étude dans le processus). ....	23.
<b>Figure 9 :</b> Modèle d'évaluation multicritères de systèmes de culture innovants. ....	29.
<b>Figure 10 :</b> Structure et fonctionnement du modèle. ....	33.
<b>Figure 11 :</b> Système de culture conventionnel (Prototype 1 et 2). ....	35.
<b>Figure 12 :</b> Système de culture innovant basé sur la culture de la variété FlohrBan 925 (Prototype 3). ....	35.
<b>Figure 13 :</b> Système de culture innovant basé sur la culture de la variété FlohrBan 925 et l'introduction de plante de service comme culture intercalaire (Prototype 4). ....	37.
<b>Figure 14 :</b> Système de culture innovant proposé, replantation de la bananeraie à partir de rejets sur mulch. ....	37.
<b>Figure 15 :</b> Effet de la densité sur la taille, le grade et le poids des doigts. ....	39.
<b>Figure 16:</b> Relation en la densité, poids brut des régimes et le tonnage brut en 1 <sup>er</sup> cycle. ....	39.
<b>Figure 17:</b> Effet de la densité sur la hauteur et la circonférence à 1 m du pseudotrunc du bananier en 1 <sup>er</sup> cycle. ....	40.
<b>Figure 18 :</b> Effet de la densité sur la durée du 1 <sup>er</sup> cycle. ....	40.

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Comparaison des caractéristiques générales des variétés Grande Naine 902 et Flhorban 925 sur deux cycles de culture. ....	9.
<b>Tableau 2 :</b> Estimation de la biomasse totale produite et des quantités d'azote (N) et de potassium (K) immobilisées à la récolte par une touffe et par la bananeraie (à une densité de 1680 plants/ha) pour les deux variétés à partir de Marchal et Mallessard (1979). ....	11.
<b>Tableau 3 :</b> Estimation des immobilisations minérales en azote (N) et potassium (K), en pourcentages cumulés au cours du cycle (Lassoudière, 2007). ....	11.
<b>Tableau 4 :</b> Présentation des objectifs de durabilité des systèmes de culture pour les dimensions économiques et agro-environnementale. ....	23.
<b>Tableau 5 :</b> Synthèse des pratiques faisant intervenir des traitements phytosanitaires par phase culturale et des doses qui sont appliquées pour les systèmes de culture conventionnels (référence « Banane 902 - jachère spontanée»). ....	27.
<b>Tableau 6 :</b> Présentation des objectifs de durabilité des systèmes de culture pour les dimensions économiques et agro-environnementale et des indicateurs qui les qualifient. ....	29.
<b>Tableau 7 :</b> Effet de la densité sur les caractéristiques agronomiques et morphologiques des bananiers. ....	41.
<b>Tableau 8 :</b> Indicateur de performances économiques à différentes densités et pour chacun des prototypes évalués....	41.
<b>Tableau 9 :</b> Indicateur de performances environnementales à différentes densités et pour chacun des prototypes évalués. ....	43.

## Références bibliographiques

### Site internet

Institut technique tropical [www.it2.fr](http://www.it2.fr)

Ministère de l'agriculture et de la pêche <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/>

Services de Nouvelles du Marché, Ministère de l'Agriculture, [www.snm.agriculture.gouv.fr](http://www.snm.agriculture.gouv.fr)

Région Guadeloupe, site officiel - La filière agricole <http://www.cr-guadeloupe.fr>

Agreste <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr>

### Littérature scientifique

Agreste, 2011. La banane, un pilier de l'agriculture des Antilles. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire. <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/primeur262.pdf>. 4 p.

Altieri M.A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems, *Agr. Ecosyst. Environ.* 74, pp. 19-31.

Altieri M.A. 2002. Agroecology : the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments, *Agr. Ecosyst. Environ.* 93, pp.1-24.

Bàrberi P. 2002. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research.* 42, pp.177-193.

Beaugendre J. 2005. Le chloredecone aux Antilles et les risques liés à l'utilisation des produits phytosanitaires quel bilan du passé? Quelles leçons pour l'avenir. Rapport d'information parlementaire N°2430. Assemblée Nationale française.

Belpomme D. 2007. Rapport d'expertise et d'audit externe concernant la pollution par les pesticides en Martinique. Conséquences agrobiologiques, alimentaire et sanitaire et proposition d'un plan de sauvegarde en cinq points. 33(0), pp. 1-54.

Blanchart E., Villenave C., Viallatoux A., Barthès B., Girardin C., Azontonde A., Feller C. 2006. Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. utilis) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. *Eur J Soil Biol.* 42, pp.136–144.

Brundtland G et al. (1987) *Our Common Future: Report of the 1987 World Commission on Environment and Development*, Oxford, Oxford University Press.

Capillon A., Ségué L. 2002. Ecosystèmes cultivés et stockage du carbone : cas des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale, *C.R. Acad Agri. Fr.*, 88 (5), pp. 63-70.

Celette F. 2007. Dynamique des fonctionnements hydriques et azotés au sein d'une vigne enherbée sous le climat méditerranéen. Thèse de doctorat, Montpellier SupAgro, Montpellier, 198p. In

Resmond R. 2011. Relation entre traits fonctionnels de plantes de service et leur capacité à contrôler des adventices en bananeraie.

Champion J. 1963. Le bananier. Blume, Editions Maisonneuve et Larose, 263p.

Damour G. 2004. Analyse et modélisation des interactions pour l'eau et bilan de services dans une association banane-canavalia. UR ASTRO, INRA Antilles Guyane, 24p.

Damour G., Ozier-Lafontaine H., Dorel M. 2012. Simulation of the growth of banana (*Musa* spp.) cultivated on cover-crop with simplified indicators of soil water and nitrogen availability and integrated plant traits. *Field Crop Research*. 130, pp. 99-108.

Damour G., Dorel M., Tran Quoc H., Meynard C., Risède J.-M.. A trait-based characterization of cover plants for the design of innovative banana cropping systems. *European Journal of Agronomy*. Pp. 1–26.

Daniels. 1987. Effect of plant spacing on yield and plant characteristics of banana in North Queensland, *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 27, pp. 727-31.

De Lapeyre De Bellaire L., Abadie C., Carlier J. 2010. Les cercosporioses des bananiers (*Mycosphaerella* spp) : vers une lutte intégrée. *Endure étude de cas sur la Banane*, 2.

Dexter R. 1991. Amelioration of soil by natural processes. *Soil and Tillage Research*. 20, pp. 87-100.

Doré T., Sène M., Pellissier F., Gallet C. 2004. Approche agronomique de l'allélopathie. *Cahiers Agriculture*, 13, 3, pp. 249-256.

Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J., Sebillotte M. 2006. L'agronomie aujourd'hui. *Synthèses*. Editions Quae. 367p.

Dorel M., Achard R., Tixier P. 2008. SIMBA-N: Modeling nitrogen dynamics in banana populations in wet tropical climate. Application to fertilization management in the Caribbean. *European Journal of Agronomy*, 29(1), pp.38–45.

Dorel M., Gervais L., Achard R. 2011. Utilisation de systèmes de culture innovants intégrant les plantes de service pour réduire l'utilisation de produits phytosanitaires en bananerais aux Antilles françaises. pp. 785-896.

Dorel M., Tixier P., Dural D., Zanoletti S. 2011. Alternatives aux intrants chimiques en culture bananière. *Innovations Agronomiques*. 16, pp. 1–11.

Dorel M., Meynard C., Lakhia K., Ramassamy M., Tobal M., Ramdaya D., Racel C., Saint-Hilaire R., Magen P., Achard R., Rosalie E., Telle N., Birba O., Marville E., Ornem G., Alier M., Hubervic C., Rieux R., Bastol C. 2012. Plan Banane Durable : Plateforme Systèmes de Culture innovants. *Activités CIRAD. Rapport 2012*, 17p.

Ganry J. 1980. Note de synthèse: le développement du bananier en relation avec les facteurs du milieu: action de la température et du rayonnement d'origine solaire sur la vitesse de croissance des feuilles. Etude du rythme de développement de la plante. *Fruits* 35, pp. 727–744.

Ganry J., Chillet M. 2008. Methodology to forecast the harvest date of banana bunches. *Fruits*, vol. 63, pp. 371–373.

Girard F. 2010. Plan Banane Durable en Guadeloupe et Martinique 15 mois après, une réalité tangible. Dossier de presse. pp.1–17.

Gommers F.J. 1981. Biochemical interactions between nematodes and plants and their relevance to control. *Helminthol. Abstr. Ser. B. Plant Nematol.*, 50, pp. 9-24.

Gowen S.R., Quénéhervé P. 1990. Nematode parasites of bananas, plantains and acaba. In: Luc M., Sikara A., Bridg J. (Eds), *Plant-parasitic nematodes in subtropical agriculture*. CABI Wallingford, UK, pp 431-460.

Guillermet C. 2008. Evaluation économique des critères de sélection de nouvelles variétés de bananier. Rapport de stage. pp.4–40.

Gurr G.M., Wratten S.D., Luna J.M. 2003. Multi-function agricultural biodiversity: pestmanagement and other benefits, *BasicAppl. Ecol.* 4, pp. 107–116.

Huchet G. 2010. Construction d'indicateurs agro-environnementaux et économiques pour l'évaluation de systèmes de culture bananiers innovants en Guadeloupe. Mémoire de fin d'études. 114p.

Institut Technique Tropical. 2013. Manuel du planteur. Fiches techniques.

Institut Technique Tropical. 2012. Lettre du Plan Banane Durable Caraïbes. 5, pp.1–5.

Isbell F., Calcagno V., Hector A., Connolly J., Harpole W.S., Reich P.B., Scherer-Lorenzen M., Schmid B., Tilman D., van Ruijven J., Weigelt A., Wilsey B.J., Zavaleta E.S., Loreau M. 2011. High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature*. 477, pp. 199-196.

Kazakou E., Vile D., Shipley B., Gallet C., Garnier E. 2006. Co-variations in litter decomposition, leaf traits and plant growth in species from a Mediterranean old-field succession. *Funct Ecol.* 20, pp. 21-30.

Kazakou E., Violle C., Roumet C., Pintor C., Gimenez O., Garnier E. 2009. Litter quality and decomposability of species from a Mediterranean succession depend on leaf traits but not on nitrogen supply. *Ann Bot.* 104, pp. 1151-1161.

Kesavan V., Hill T., Morris G. 2002. The Effect of Plant Spacing on Growth, Cycling Time and Yield of Bananas in Subtropical Western Australia. pp.851–857.

Lassois L., Busogoro J., Jijakli H., 2009. La banane : de son origine à sa commercialisation. 13(4), pp.575–586.

Lassoudière, 2007. Le bananier et sa culture, éditions Quae, 383 p.

Lavorel S., Garnier E. 2002. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. *Funct Ecol.* 16, pp. 545-556.

Lu Y.C., Watkins K.B., Teasdale J.R., Abdul-Baki A.A., 2000. Cover crops in sustainable food production. *Food Rev Int.* 16, 121-157. In Damour G., Dorel M., Tran Quoc H., Meynard C., Risède



J.-M. 2013. A trait-based characterization of cover plants for the design of innovative banana cropping systems. *European Journal of Agronomy*. Pp. 1–26.

Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., Tournonnet S.d., Valantin-Morison M. 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agron Sustain Dev*. 29, pp. 43-62.

Marchal J et Mallessard R. 1979. Comparaison des immobilisations minérales de quatre cultivars de bananiers à fruits pour cuisson et de deux 'Cavendish'. *Fruits* 34, pp. 373–392.

Mediene S., Valantin-Morison M., Sarthou J.P., de Tournonnet S., Gosme M., Bertrand M., Roger-Estrade J., Aubertot J.N., Rusch A., Motisi N., Pelosi C., Doré T. 2011. Agroecosystem 571 management and biotic interactions: a review. *Agron Sustain Dev*. 31, pp. 491-514.

Mitchell G., May A., McDonald A. 1995. PICABEU: a methodological framework for the development of indicators of sustainable development. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 2, pp. 104-123.

Montagut G et Martin-Prével P. 1965. Besoins en engrais des bananeraies antillaises. *Fruits*. 20 :6, pp. 265-273.

Nolot J.-M., Debaeke P. 2003. Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. In : Systèmes de culture innovants et durables ; quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Reau R., Dore T. 2008. Educagri Editions, 175p.

Ozier-Lafontaine H., De Barros I. 2009. SIMSERV a computer based decision support system for the choice of duty plants in agro-ecologic cropping systems. INRA Antilles Guyane, UR ASTRO.

Ratnadass A., Fernandes P., Avelino J., Habib R. 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agron Sustain Dev*. 32, pp. 273-303.

Reau R. et Doré T. 2008. Systèmes de culture innovants et durables, quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer? Edition Educagri, 175p.

Risède J.M., Chabrier C., Dorel M., Achard R., Quénéhervé P. 2010. Integrated management of banana nematodes : Lessons from a case study in the French West Indies. *From Science to Field*, (4), pp. 1–7.

Robinson J.C. 1996. Bananas and Plantains. CAB International, Wallingford, UK. In Kesavan V., Hill, T., Morris G. 2002. The Effect of Plant Spacing on Growth, Cycling Time and Yield of Bananas in Subtropical Western Australia. pp.851–857.

Sadok W., Angevin F., Bergez J.E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Lande N., Coquil X., Messean A., Bohanec M., Dore T. 2007. Indicatorbase MCDA framework for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. In: Systèmes de culture innovants et durables; quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Reau R., Dore T. 2008. Editions Educagri, 175p.

Sainju U.M., Singh B.P., Whitehead W.F., Wang S. 2007 . *Agron J* 99:682–691 (2007). Accumulation and crop uptake of soil mineral nitrogen as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*, 99, pp.682-691.

Schvartz C., Fabre B., Julien J.L. 2005. Sols, fertilisation et environnement.

Doré T., Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J., Sebillotte M. 2006. L'agronomie aujourd'hui. *Synthèses*. Editions Quae. 367p

Temple L., Marie P., Bakry F. 2008. Les déterminants de la compétitivité des filières bananes de Martinique et de Guadeloupe. *Economie Rurale*, 308, pp.35–53.

Tixier P., Dorel M., Malézieux E. 2007. A Model-based Approach to maximise Gross Income by Selection of Banana Planting Date. *Biosystems Engineering*, 96(4), pp. 471–476.

Tixier P., Malézieux E., Dorel M., Bockstaller C., Girardin P. 2007. Rpest—An indicator linked to a crop model to assess the dynamics of the risk of pesticide water pollution. *European Journal of Agronomy*, 26(2), pp.71–81.

Vandermeer J.H. 1989. The ecology of intercropping. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Viladebó. 1984. Problèmes scientifiques posés par *Radopholus similis* et *Cosmopolites sordicus* en cultures bananières des zones francophones de production. *Fruits*. 39 :4, pp. 227-233.

Violle C., Navas M.L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I., Garnier E. 2007. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, 116, pp.882-892.

Wang K., Sipes B.S., Schmitt D.P. 2002. *Crotalaria* as a cover crop for nematode management: a review. *Nematropica* 32, pp. 35-57.

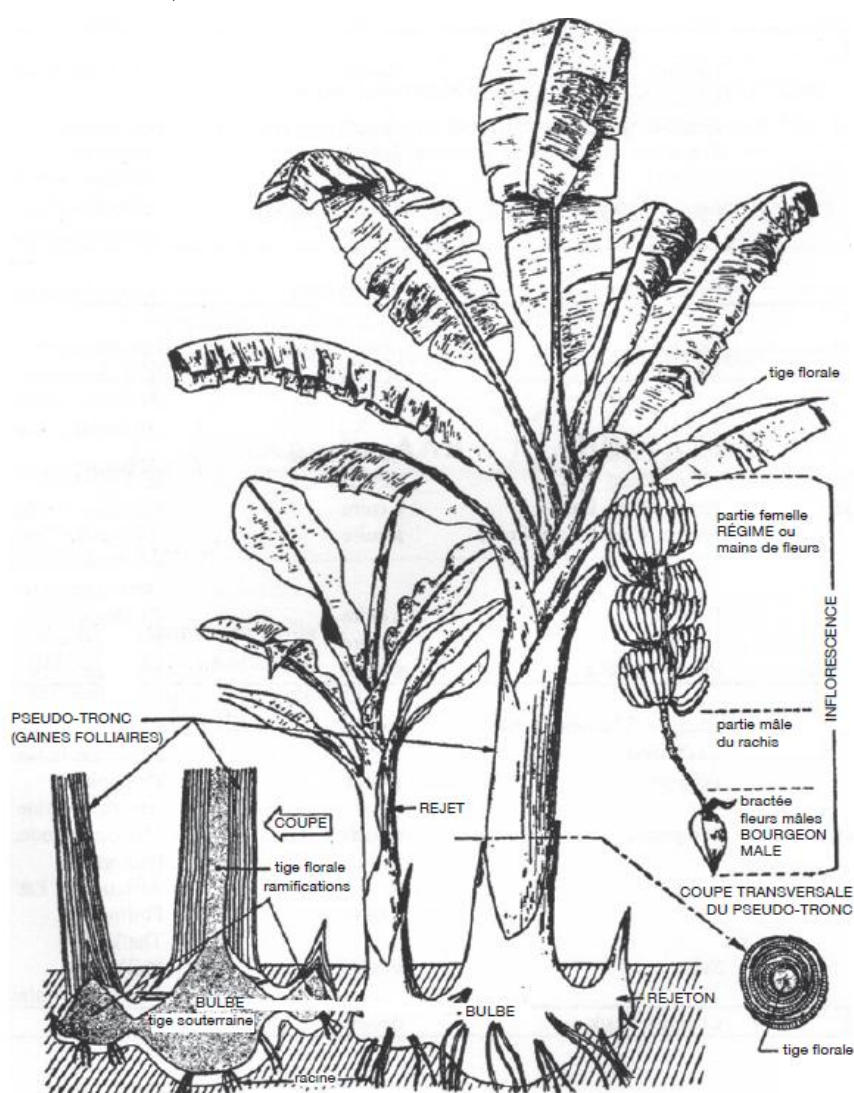
Wortman S.E, Francis C.A, Lindquist J.L. 2012. Cover Crop Mixture for the Western Corn Belt: Opportunities for the Increased Productivity and Stability. *Agron J*. 104, 699-705.

Zhang W, Ricketts TH, Kremen C, Carney K, Swinton SM. 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*. 64, pp. 253-260.

## Annexes :


### Annexe 1 : Connaissances générales sur la physiologie du bananier.




Les bananiers sont des plantes herbacées monocotylédones de la famille des *Musaceae*. Les variétés cultivées sont parthénocarpiques, monoblastiques et se reproduisent par multiplication végétative à partir de la tige souterraine (Figure), ce qui en fait une culture pérenne (Lassois *et al.*, 2009). Le développement du bananier est caractérisé par l'émission, à partir du méristème végétatif du rhizome, de gaines foliaires imbriquées formant le pseudotronc et de feuilles. Lorsque la croissance de la plante est totale, le méristème se différencie en méristème floral, initie l'inflorescence et son émergence au sommet de la plante. L'inflorescence est composée de fleurs mâles et de fleurs femelles qui forment le régime de bananes après une phase de remplissage (Lassois *et al.*, 2009). Après la récolte du régime, le pied entre en sénescence. Les cycles de culture suivants sont assurés par la formation, à partir des rameaux axillaires du rhizome, de rejets latéraux qui donneront à leur tour un régime. Dans les monocultures intensives, les bananiers sont en moyenne conservés durant 5 cycles de production (Lassoudière, 2007).



Morphologie du bananier (Champion, 1963).


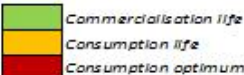
**Annexe 2 : Fiche technique de la variété Flohrban 925.**

 Station Neufchâteau	PLATEFORME DE SELECTION HYBRIDES DESSERT	CHART	Code	E-P2-00 / POST
	Document QSE	Hybrid 925	Update	03/01/2011
			Version	01

AGRONOMY				
Plant	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	
Height (cm)	278	390	422	
Girth (cm)	47	61	65	
Robustness (Girth/Height)	17	16	15	
Nb. of living leaves	10	11	10	
Limb length (cm)	266	337	363	
Limb width (cm)	83	86	89	
Petiol length (cm)	43	59	62	
Petiol width (cm)	5	6	6	
Bunch				
Nb. hands	9	11	10	
Nb. fingers	162	198	241	
Weight (kg)	25	33	35	
Fruit				
Length (mm)	210	200	200	
Grade (mm)	33	33	33	
Weight (g)	140	150	131	

QUALITY ASPECT			
Bunch	Fruit		
Deflowering	Easy	Tiger aspect	No
Hands removing	Medium	Chilling injury	Variable sensibility
Packing	Easy	Impacts	No sensible

ORGANOLEPTIC ASPECT		
Overall liking (/4)	2,8	<u>Sensory characteristics</u> Balanced in mouth
Taste (/4)	2,9	
Texture (/4)	/	

PRODUCTION		
Bunch/Box (18,4 kg/box)	0,8	
Nb. Cycle/year	1,6	
Yellow sigatoka	Tolerant	
Black sigatoka	Tolerant	
R. Similis (lab)	Medium	
P. coffeae (lab)	Tolerant	

**Annexe 3 :** Estimation de la biomasse totale produite et des quantités d'azote (N) et de potassium (K) immobilisées à la récolte par une touffe et par la bananeraie (à une densité de 1680 plants/ha) pour les deux variétés à partir de Marchal et Mallessard (1979) et de plusieurs hypothèses.

Variété	Données variété Grande Naine au Cameroun d'après (Marchal et Mallessard, 1979)	Données variété Grande naine (902) en Guadeloupe	Données variété Flhorban 925 en Guadeloupe
Circonférence du pseudotrunc du pied mère (cm) a1*	74,00	66,00	47,00
Hauteur du pseudotrunc du pied mère (cm) a2*	287,00	280,00	278,00
Circonférence du pseudotrunc du rejet (cm) a3*	/	24,00	68,68
Hauteur du pseudotrunc du rejet (cm) a4*	/	145,00	283,00
Volume du pseudotrunc (m3) b1*	125,06	97,06	48,87
Volume pseudotrunc du rejet(m3) b2*	11,53	6,65	106,23
Masse volumique du bananier (Kg.cm3) c*	1,12	1,12	1,12
Indicateur de Biomasse fraîche du pied mère (Kg) d1*	140,56	109,08	54,92
Indicateur de Biomasse fraîche du rejet (Kg) d2*	12,96	7,47	119,39
Indicateur Biomasse fraîche Totale de la touffe (Kg) e*	153,52	116,55	174,31
Teneur totale en biomasse sèche du plant (%) f*	10,90	10,90	10,90
Indicateur de Biomasse sèche totale de la touffe (kg) g*	16,73	12,70	19,00
Quantité N immobilisée/touffe (g) h1*	175,20	133,01	198,93
Quantité K immobilisée/touffe(g) h2*	646,80	491,06	734,40
Production de Biomasse fraîche à l'hectare (Tonnes/Ha) i1*	257,9	195,81	292,84
Biomasse sèche produite à l'hectare (Tonnes/Ha) i2*	28,2	21,34	31,92
Quantité N immobilisée à l'hectare (Kg/Ha) i3*	294,34	223,46	334,20
Quantité K immobilisée à l'hectare (Kg/Ha)i4*	1086,62	824,98	1233,79
Ratio (%)	/	100,00	149,55

#### Légende :

**a1\*, a2\*, a3\*et a4\*:** Les données concernant la hauteur et la circonférence du pseudotrunc du pied mère des deux variétés sont issues de leurs fiches techniques, fournies par le Cirad. Ces données n'ont pu être mesurées sur le site expérimental. Les bananiers ont atteint le stade de récolte durant la première quinzaine de juillet. Les données concernant la hauteur et la circonférence du pseudotrunc du rejet des deux variétés n'ont pas été répertoriées dans les fiches techniques. Ces données, présentées en Annexe 3, ont été relevées sur les essais expérimentaux lors de l'atteinte du stade récolte durant la première quinzaine de juillet et transmises par le Cirad. Elles ont permis d'obtenir une valeur moyenne pour la hauteur et la circonférence des rejets des deux variétés.

**b1\* et b2\*:** Le volume du pseudotrunc du pied mère et du rejet à été calculé à partir de la formule :

$$V = \frac{(C^2 * H)}{(4 * \pi)}$$

**c\*:** La masse volumique a été calculée à partir de la biomasse fraîche du pseudotrunc, fournie par l'étude de Marchal et Mallessard (1979), et de son volume qui a été calculé auparavant. La masse volumique a été estimée selon la formule  $\varphi = \frac{m}{V}$ .

**d1\* et d2\*:** La biomasse fraîche du pseudotrunc du pied mère et du rejet des variétés 902 et 925 présentes en Guadeloupe a été estimée à partir de l'hypothèse H1 et de la formule suivante  $m = V * \varphi$

**e\*:** La biomasse fraîche totale a été estimée à partir de la somme de la biomasse fraîche du pseudotrunc du pied mère et du rejet.

**f\***: la teneur totale en biomasse sèche et en eau de la variété 902 au Cameroun a été tirée de l'étude de Marchal et Mallessard (1979). En s'appuyant sur l'hypothèse H2, la teneur totale en biomasse sèche des variétés 902 et 925 présentes en Guadeloupe a été déterminée.

**g\***: La biomasse sèche totale des variétés 925 et 902 présentes en Guadeloupe a été déterminée à partir de leur teneur totale en biomasse fraîche et de l'hypothèse H2.

**h1\* et h2\*** : Les quantités d'azote et de potassium immobilisées par la variété 902 située au Cameroun sont renseignées par l'étude de Marchal et Mallessard (1979). A partir de ces données et de l'hypothèse H3, les quantités d'azote et de potassium immobilisées par les variétés 902 et 925 présentes en Guadeloupe ont pu être estimées.

**i1\*, i2\*, i3\* et i4\***: Les biomasses fraîches et sèches produites à la récolte par hectare ainsi que les quantités d'azote et de potassium immobilisées à la récolte par hectare ont été déterminées à partir des biomasses fraîches et sèches produites à la récolte par touffe, et des quantités d'azote et de potassium immobilisées à la récolte par touffe. Ces données ont été multipliées par la densité de référence de 1680 plants/ha.

**Annexe 4** : Données expérimentales à la récolte et pour une densité de 1500 plants/ha concernant la hauteur et de la circonférence à 1m des rejets pour les variétés 902 et 925.

Variété 925					Variété 902	
Densité 1500 plants/ha.						
N° du plant	Hauteur du bananier à la récolte (m)	Circonférence du bananier à 1 m à la récolte (cm)	Hauteur du rejet à la récolte (m)	circonférence du rejet à la récolte (cm)	Hauteur du rejet à la récolte (m)	circonférence du rejet à la récolte (cm)
Mesures faites à la récolte						
1					1,6	26
2					1,6	27
3					1,3	20
4					1,1	19
5					1,2	18
6					1,6	23
7	2,40	51	2,75	68	1,8	35
8					1,4	24
9					1,4	22
10					1,5	26
11						
12	2,60	52	3	75		
13						
14	2,60	49	2,95	74		
15	2,60	52	2,7	63		
16	2,70	49	2,8	74		
17						
18	2,60	49	3	76		
19	2,50	46	2,9	69		
20	2,50	49	3,2	76		
21	2,40	49	2,84	67		
22	2,40	44	2,63	66		
23	2,40	47	3,1	73		
24	2,60	48	2,9	72		
25	2,90	66	3,1	81		
26	2,55	51	2,3	45		
27	2,60	49	2,3	53		
28	2,60	49	2,8	67		
Moyenne	2.559375	50	2.829375	68.6875	1.45	24



**Annexe 5:** Identification des traits fonctionnels relatifs aux fonctions attendues dans les agrosystèmes bananiers, calculs et évaluation de la valeur des traits d'après Damour *et al* (2013).

Capacité de contrôle des nématodes *R.similis* et *P coffeae* : L'aptitude de la plante à augmenter les populations de nématodes au sein de ses racines est déterminée par le taux de multiplication dans les racines (statut d'hôte de la plante) (Damour *et al.*, 2013 ; Wang *et al.*, 2002). Le statut d'hôte est calculé comme le rapport entre la quantité de nématodes présents dans les racines au temps  $t_{+1}$  et au temps  $t_0$ . Les plantes ayant un taux de multiplication  $<1$  sont considérées comme pouvant contrôler efficacement ces nématodes. Les plantes ayant un taux de multiplication  $>5$  sont considérées comme étant inefficaces pour leur contrôle et favorisant leur développement (Damour *et al.*, 2013).

Capacité de contrôle des adventices (trois moyens sont considérés):

- L'aptitude à croître rapidement est déterminée par le taux de croissance absolue de la surface foliaire. Il est calculé comme la différence entre la surface foliaire au temps  $t_{+1}$  et la surface foliaire au temps initiale  $t_0$ , divisée par la période de croissance (Damour *et al.*, 2013). Afin d'avoir un contrôle efficace, il est considéré que la plante doit recouvrir la surface en quatre semaines après le semis et doit donc croître de 40 cm<sup>2</sup>/plant/jour. Cependant, si la surface du sol n'est pas recouverte au delà de 6 semaines, correspondant à un taux de croissance de 26 cm<sup>2</sup>/plant/jour, la plante est considérée inapte au contrôle des adventices (Damour *et al.*, 2013).

- La persistance d'une plante. est déterminée par la durée de son cycle de vie ( $>3$  mois, annuel, pluriannuel, pérennes). L'aptitude à se développer par multiplication végétative est déterminée par la présence d'organes de propagation végétative (rhizomes ou stolons) ou par la capacité à se multiplier par bouturage. Les plantes pérennes et pluriannuelles pouvant croître par multiplication végétative sont considérées comme efficaces et peuvent contrebalancer les dommages liés aux ravageurs et au piétinement des travailleurs. Les plantes pérennes et pluriannuelles qui ne possèdent pas d'organes de multiplication végétative sont considérées comme modérément efficace (Damour *et al.*, 2013)

- Barrière physique : Le volume initial est estimé à l'aide de la biomasse sèche aérienne totale produite calculée à partir du poids frais et sec de l'appareil végétatif et exprimée par unité de surface. Le taux de décomposition est évalué à partir de la matière sèche contenue dans la biomasse aérienne vivante (Kazakou *et al.*, 2006 ; Kazakou *et al.*, 2009) et calculé après séchage de l'appareil végétatif. Il est considéré que le mulch peut former une barrière physique efficace si la biomasse aérienne sèche est supérieur à 0.75 kg/m<sup>2</sup> et si la biomasse aérienne vivante contient plus de 25% de matière sèche (Damour *et al.*, 2013).

Capacité de restitution d'azote disponible : La quantité d'azote contenue dans l'appareil végétatif est exprimée par unité de surface et évaluée par la biomasse aérienne sèche totale et par son contenu en azote. La biomasse aérienne sèche est calculée à partir du poids frais et sec de l'appareil végétatif et exprimée par unité de sol. La quantité d'azote contenue dans la biomasse aérienne a été calculée comme le produit de la biomasse aérienne sèche et du contenu en azote par unité de poids. Le taux de minéralisation nette est évalué à partir du rapport C/N des organes vivants de la plante. Des quantités d'azote fournies de l'ordre de 0.01 kg/m<sup>2</sup> et des taux de minéralisation rapide, inférieurs à 24 sont considérés comme contribuant à la nutrition des jeunes bananiers (Damour *et al.*, 2013).

Tolérance à la lumière.

La tolérance des plantes aux milieux ensoleillés a été déterminé par l'absence de dommages observés sur les feuilles et le maintien de leur croissance lorsqu'elles sont exposées à la lumière.

Tolérance à l'ombre

La tolérance des plantes aux milieux ombragés a été déterminé par l'aptitude des plantes à maintenir leur croissance en étant exposées aux conditions présentes sous la canopée des bananiers.



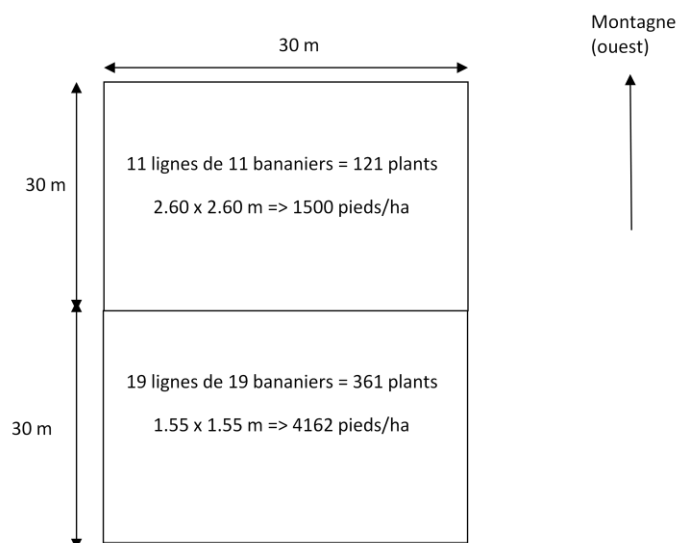
**Annexe 6 :** Evaluation des traits fonctionnels permettant d'évaluer l'aptitude de la plante à réaliser les fonctions et les services écosystémiques attendus dans les agrosystèmes bananiers d'après Damour *et al* (2013).

Service	Fonctions des plantes	Caractéristiques des plantes	Traits fonctionnels des plantes observés	Unité	Type fonctionnel	Valeurs des traits
Contrôle de <i>R.similis</i> et <i>P.coffea</i>	Contrôle direct des ravageurs	Capacité de multiplication des nématodes	Statut d'hôte	/	NMC1	Statut d'hôte < 1
					NMC0,5	1 < statut d'hôte < 5
					NMC0	Statut d'hôte > 5
Contrôle des adventices	Compétition aérienne par couverture rapide de la surface du sol	Croissance rapide	Taux de croissance absolu de la surface foliaire	Cm <sup>2</sup> /plant/jour	RSC1	Taux de croissance > 40
					RSC0,5	26 < taux de croissance < 40
					RSC0	Taux de croissance < 26
	Colonisation persistante de la surface du sol	Persistance de la plante et capacité de propagation par multiplication végétative	Durée du cycle de vie et présence d'organe de propagation végétative et capacité à croître par bouturage	Qualitatif	PSC1	Pérenne ou pluri-annuel
					PSC0,5	Présence d'organe
					PSC0,5	Pérenne ou pluri-annuel
					PSC0	Absence d'organes
	Formation par le mulch d'une barrière physique pour la germination	Volume du mulch et vitesse de décomposition	Biomasse aérienne sèche et matière sèche contenue dans la biomasse aérienne	Kg/m <sup>2</sup> et %		Annuel ou cycle court
						Absences d'organe
					PHB1	>0,75
					/	>25 %
					PHB0	<0,75
Eviter la compétition avec les bananiers	Compétition aérienne avec les bananiers	Capacité à croître au dessus des bananiers et capacité à grimper sur les bananiers	Hauteur de la plante et habitude de croissance de la plante	Qualitatif		<25%
					AGC1	Hauteur < 1 m
					AGC0,5	Pas volubile
					AGC0	Hauteur < 1 m
	Compétition racinaire avec les bananiers	Densité d'exploration dans la zone de croissance racinaire des bananiers et demande de la plante en nutriment par surface de sol	Densité racinaire moyenne dans la zone de 0 - 30 cm et biomasse aérienne sèche	/dm <sup>2</sup> et Kg/m <sup>2</sup>		Hauteur > 1 m
						/
					BGC1	Densité racinaire moyenne < 10/dm <sup>2</sup>
					BGC0,5	< 1 kg/m <sup>2</sup>
					BGC0	Densité racinaire moyenne < 10/dm <sup>2</sup>
						> 1 kg/m <sup>2</sup>
Amélioration la fertilité azotée du sol	Facilitation de la croissance par retour d'azote	Quantité d'azote contenue dans les tissus vivants et vitesse de minéralisation du mulch	Quantité d'N contenue dans la biomasse aérienne exprimée par unité de surface et Rapport C/N de la biomasse aérienne	Kg/m <sup>2</sup>		Densité racinaire moyenne > 10/dm <sup>2</sup>
					NRT1	/
					NRT0,5	Quantité d'azote > 0,01 kg/m <sup>2</sup> et C/N < 24
					NRT0	Quantité d'azote > 0,01 kg/m <sup>2</sup> et C/N > 24
						Quantité d'azote < 0,01 kg/m <sup>2</sup> et C/N > 24
Tolérance à la lumière	Maintient de la croissance de la plante	/	Absence de dommage sur les feuilles	Qualitatif	TLI1	Quantité d'azote < 0,01 kg/m <sup>2</sup> et C/N < 24
					TLI0	C/N < 24
Tolérance à la l'ombrage	Maintient de la croissance de la plante	/	/	Qualitatif	TSH1	Tolérance à la lumière
					TSH0	Intolérance à la lumière

**Annexe 7** : Protocole expérimental de l'essai d'une culture annuelle à haute densité de la variété 925.

A. Dispositif expérimental

Parcelle Bungalow 3 :



- **Date de mise en place:** Plantation terminée le 17 septembre 2012

- **Conduite de la culture :**

Désherbage mécanique à la débrousailluse

Fertilisation en plein identique dans les deux traitements (voir plan de fertilisation)

Gainage régime - ablation pour conservation de 7 mains

Éilletonnage : sélection précoce 1 successeur dans les 2 traitements

- **Observations et mesures** (Equipe Sélection – Equipe Système de culture innovant)

→ Sur une sélection de 20 bananiers observés dans chaque traitement

→ 3 mois après plantation :

Comptage nématodes (échantillon composite)

→ A la floraison

Date de floraison

Circonférence à 1m

Nombre de doigts

Hauteur des plants

Analyse du sol au pied du bananier (échantillon composite)

Analyse de la feuille 3 (échantillon composite)

Comptage nématodes (échantillon composite)

→ A la récolte (IFC = 850°jour)

Date de récolte

Poids régime

Fruit main 3 => grade, longueur, poids, courbure, DVV

Rapport carton/régime

→ Sur chaque parcelle élémentaire

Relevé températures air sous couvert bananier (mesures horaires)

Evaluation des adventices: Relevé mensuel de l'état de surface du sol par points à l'aide de la méthode transect mesures continues.

# **Annexe 8-1: Mesures des caractéristiques agronomiques et morphologiques aux deux densités.**

Variété 925													
Densité 1500 plants/ha.													
	Numéro pied	Date au stade tête de cheval	Intervalle Plantation- Floraison (jours)	Circonférenc e du bananier à 1 m à la floraison (cm)	Hauteur du bananier à la floraison (m)	Hauteur du rejet à la floraison (m)	circonférence du rejet à lafloraison (cm)	circonférence rejet (cm)Floraison	Hauteur du bananier à la récolte (m)	Circonférence du bananier à 1 m à la récolte (cm)	Hauteur du rejet à la récolte (m)	circonférence du rejet à la récolte (cm)	Nombre de doigts
				Floraison									
III1	31	17/09/2012	07/05/2013	232	2,40	45	1,5	33					144
III2	30	17/09/2012	14/05/2013	239	2,50	47	1,7	33					136
III3	41	17/09/2012	10/05/2013	235	2,40	51	1,45	34					166
III4	42	17/09/2012	30/04/2013	225	2,26	47	1,4	32					156
III5	53	17/09/2012	22/04/2013	217	2,20	48	1	25					168
III6	52	17/09/2012	25/04/2013	220	2,60	53	38	1,7					182
III7	63	17/09/2012	12/04/2013	207	2,50	52	1,4	30	2,40	51	2,75	68	174
III8	64	17/09/2012	28/05/2013	253	2,50	46							144
III9	75	17/09/2012	25/04/2013	220	2,50	49	1,15	23					172
III10	74	17/09/2012	27/04/2013	222	2,40	54	2	31					158
III11	85	17/09/2012	22/04/2013	217	2,50	52	2,1	45					160
III12	86	17/09/2012	10/04/2013	205	2,50	43	1,7	37	2,60	52	3	75	148
III13	97	17/09/2012	25/04/2013	220	2,20	41	1,8	40					122
III14	96	17/09/2012	17/04/2013	212	2,70	54	2,2	47	2,60	49	2,95	74	158
IV1	25	17/09/2012	15/04/2013	210	2,70	55	1,4	35	2,60	52	2,7	63	178
IV2	26	17/09/2012	02/04/2013	197	2,54	50	1,83	39	2,70	49	2,8	74	138
IV3	37	17/09/2012	29/05/2013	254	2,65	43							139
IV4	36	17/09/2012	10/04/2013	205	2,62	54	1,5	33	2,60	49	3	76	171
IV5	47	17/09/2012	08/04/2013	203	3,37	45	1,8	48	2,50	46	2,9	69	142
IV6	48	17/09/2012	15/04/2013	210	2,55	47	1,9	48	2,50	49	3,2	76	157
IV7	59	17/09/2012	10/04/2013	205	2,50	49	1,1	22	2,40	49	2,84	67	156
IV8	58	17/09/2012	15/04/2013	210	2,50	50	1,55	36	2,40	44	2,63	66	142
IV9	69	17/09/2012	27/03/2013	191	2,40	47	1,9	44	2,40	47	3,1	73	141
IV10	70	17/09/2012	02/04/2013	197	3,35	51	1,8	39	2,60	48	2,9	72	148
IV11	81	17/09/2012	05/04/2013	200	3,26	57	2,11	50	2,90	66	3,1	81	186
IV12	80	17/09/2012	18/04/2013	213	2,70	51	0,4	14	2,55	51	2,3	45	164
IV13	91	17/09/2012	28/03/2013	192	2,69	49	0,84	20	2,60	49	2,3	53	150
IV14	92	17/09/2012	03/04/2013	198	2,60	49	1,78	30	2,60	49	2,8	67	172
Moyenn e				214,6071429	2,5925	49,25	2,973461538	33,45	2,559375	50	2,829375	68,6875	156,14286

Variété 925													
Densité 4162 plants/ha													
Numéro pied		Date plantation	Date au stade tête de cheval	Intervalle Plantation-Floraison (jours)	Hauteur du bananier à la floraison (m)	Circonférence du bananier à 1 m à la floraison (cm)	Hauteur du rejet à la floraison (m)	circonférence du rejet à la floraison (cm)	Hauteur du bananier à la récolte (m)	Circonférence du bananier à 1 m à la récolte (cm)	Hauteur du rejet à la récolte (m)	circonférence du rejet à la récolte (cm)	Nombre de doigts
I1	148	17/09/2012	07/05/2013	232	3,00	50							160
I2	167	17/09/2012	22/04/2013	217	2,80	46	2,4	37	2,85	47	3,7	69	134
I3	166	17/09/2012	24/05/2013	249	3,30	48	1,5	21					161
I4	165	17/09/2012	14/05/2013	239	3,60	51	1,55	22					134
I5	184	17/09/2012	07/05/2013	232	3,60	53	1,1	20			2,35	33	152
I6	185	17/09/2012	24/05/2013	249	3,50	49	1,7	25			1,8	22	140
I7	186	17/09/2012	15/04/2013	210	3,10	48	2,6	46					150
I8	206	17/09/2012	30/04/2013	225	2,90	49	1,6	28			2,4	32	146
I9	205	17/09/2012	24/05/2013	249	3,20	46	1,5	19					135
I11	222	17/09/2012	07/05/2013	232	3,10	52	1	23			2	26	146
I12	223	17/09/2012	22/04/2013	217	2,70	49	1,7	26			1,8	21	138
I14	242	17/09/2012	30/04/2013	225	3,10	48	0,8	15			1,9	25	146
II1	157	17/09/2012	22/04/2013	217	2,60	58	1,1	18					168
II2	158	17/09/2012	02/05/2013	227	3,80	54	1,8	28					168
II3	159	17/09/2012	02/05/2013	227	3,50	57	1,55	25			2,4	27	184
II5	176	17/09/2012	04/04/2013	199	3,30	50	2,3	37					146
II6	175	17/09/2012	10/04/2013	205	3,50	50	1,75	24		52	2	37	174
II9	197	17/09/2012	08/04/2013	203	3,20	55	1	23	3,28	49	0,85	22	156
II10	216	17/09/2012	07/05/2013	232	3,70	54	1,75	29					173
II11	215	17/09/2012	14/05/2013	239	3,30	43	0,32	8					124
II12	214	17/09/2012	05/04/2013	200	2,70	50	0,8	28	3,10				182
II13	213	17/09/2012	02/05/2013	227	3,70	55	2,6	37					198
II14	234	17/09/2012	02/05/2013	227	3,30	52	1,15	21					168
Moyenne				225,173913	3,239130435	50,73913043	1,525909091	25,45454545	3,076666667	49,33333333	2,12	31,4	155,782609

**Annexe 8-2:** Mesures des caractéristiques agronomiques et morphologiques aux deux densités.

Haute densité 4162 plants/ha					Faible densité 1500 plants/ha				
Numéro plants	Poids des régimes (Kg)	Grade des doigts interne/externe (mm)	Longueur des doigts interne/externe (mm)	Poids des doigts interne/externe (g)	Numéro plants	Poids des régimes (Kg)	Grade des doigts interne/externe (mm)	Longueur des doigts interne/externe (mm)	Poids des doigts interne/externe (g)
3	11,8				2	33,4			
9	21,7				3	31,6			
22	19,5				5	29,1			
24	21,05				7	25,2			
27	22,04				8	21,7			
30	19,5				16	24,5			
39	16,2				17	30,85			
43	18,6				24	34,5	43,3	247	229,9
44	22,35				36	29,55	38,5	244	202,2
48	21,13				45	30,15			
51	19,05				57	27,85			
52	17,06				59	23,4	37,8	242	181,4
62	21,45				63	26,5	38,3	230	173,6
63	17,25				68	34,1			
66	21				86	25,2	39,1	219	171,9
79	22,4				94	23			
84	15,1				100	29,4			
96	23,8				105	27,1			
97	20,35				117	24,9			
102	17,35				Moyenne	28	39,4	236,4	191,8
105	17,3	33,7	190,0	114,0					
107	19,4	33,8	218	136,4					
115	17,2								
118	19,15								
120	21,1								
128	18,8								
153	20,45								
173	20,6								
175	19,7								
197	13,7	30,2	186	97,2					
199									
208	14,5								
210	21,5								
211	23,1	36,5	224	162,4					
233		36	228	161,4					
251	17,45								
265	13,45								
267	21								
268	24,15								
269	19								
270	14,5								
313	18,63								
329	26,5								
344	20,4								
346	19,65								
349	16,7								
Moyenne	19,24113636	34,04	209,2	134,28					

**Annexe 9:** Calcul de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la droite de régression linéaire entre les deux densités de référence (testés expérimentalement 1500 et 4162 plants/ha) et pour chacune des caractéristiques. Estimation des valeurs des caractéristiques agronomiques et morphologiques pour les densités intermédiaires.

pente	$a = (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1)$	-0,002013524	-0,010217881	-0,021607814	-0,00013533	-0,003290346	/	0,003970699	/	/	0,000242912	0,000559403
ordonnée	$b = (Y_1 - a) * X_1$	42,4202855	251,7268219	224,2117205	156,3458521	32,93551841	/	208,6439519	/	/	2,228132738	48,4108957
		Grade des doigts interne/externe (mm)	Longueur des doigts interne/externe (mm)	Poids des doigts interne/externe (g)	Nombre de doigts	Poids des régimes (kg)	Tonnage moyen brut /ha (t)	Intervalle plantation-floraison moyenne IPF (jours)	Intervalle Floraison Coupe moyenne (jours)	Durée moyenne du cycle (mois)	Hauteur du bananier à la floraison (m)	Circonférence du bananier à 1 m à la floraison (cm)
Faible densité X1	1500	39,4	236,4	191,8	156,1428571	28	42	214,6	90	10,15333333	2,5925	49,25
	1750	38,89661908	233,8455297	186,3980466	156,1090246	27,1774136	47,5604738	215,5926747	90	10,18642249	2,653227877	49,38985072
	2000	38,39323817	231,2910594	180,9960932	156,0751921	26,3548272	52,7096544	216,5853494	90	10,21951165	2,713955754	49,52970143
	2250	37,88985725	228,736589	175,5941397	156,0413596	25,5322408	57,44754179	217,578024	90	10,2526008	2,774683631	49,66955215
	2500	37,38647633	226,1821187	170,1921863	156,0075271	24,7096544	61,77413599	218,5706987	90	10,28568996	2,835411508	49,80940287
	2750	36,88309542	223,6276484	164,7902329	155,9736946	23,88706799	65,68943698	219,5633734	90	10,31877911	2,896139385	49,94925359
	3000	36,3797145	221,0731781	159,3882795	155,9398622	23,06448159	69,19344478	220,5560481	90	10,35186827	2,956867262	50,0891043
	3250	35,87633358	218,5187077	153,9863261	155,9060297	22,24189519	72,28615937	221,5487228	90	10,38495743	3,017595139	50,22895502
	3500	35,37295267	215,9642374	148,5843727	155,8721972	21,41930879	74,96758077	222,5413974	90	10,41804658	3,078323016	50,36880574
	3750	34,86957175	213,4097671	143,1824192	155,8383647	20,59672239	77,23770896	223,5340721	90	10,45113574	3,139050893	50,50865645
	4000	34,36619083	210,8552968	137,7804658	155,8045322	19,77413599	79,09654395	224,5267468	90	10,48422489	3,19977877	50,64850717
Haute densité X2	4162	34,04	209,2	134,28	155,7826087	19,2411	80,0814582	225,17	90	10,50566667	3,239130435	50,73913043

- **L'intervalle floraison coupe est déterminé par les chercheurs.** La coupe du régime doit se faire en fonction de la durée de vie verte des bananes

**Annexe 10** : Première page de décision, conduite de la rotation culturale et des systèmes de culture et valeur des indicateurs

		Prototype 1 Référence	Prototype 2 Référence	Prototype 3 innovant	Prototype 4 innovant avec rejet aussi	Prototype 5 innovant		
Variété								
Cavendish		1	0	0	0	0		
Florhban 925		0	1	1	1	1		
Besoins en azote g /plant		133,01	198,93	198,93	198,93	198,93		
Besoins en potasse g/plant		491,06	734,40	734,40	734,40	734,40		
CONDUITE DU SYSTÈME DE CULTURE								
Choix de la densité		2750,00	2750,00	2750,00	2750,00	2750,00		
INTERCULTURE								
Conduite de l'Interculture		1	1	1	1	1		
Occurrence de la phase interculture dans la rotation		1	1	3	3	3		
Choix de la Durée de l'interculture		12,00	12,00	12,00	12,00	12,00		
Type d'interculture jachère spontanée		1	1	1	0	0		
Type d'interculture plantes de service		0	0	0	1	1		
PLANTES vitroplant								
Conduite du 1er cycle Plantes Vitroplant		1	1	1	1	1		
Occurrence de la phase plantes vitroplant dans la rotation		1	1	3	3	1		
Association de plantes de service		0	0	0	0	1		
PLANTES rejet								
Conduite du 1er cycle Plantes Rejet		0	0	0	0	1		
Occurrence de la phase plantes rejet dans la rotation		0	0	0	0	2		
Association de plantes de service		0	0	0	0	0		
REJETONS								
Choix de la Conduite 2eme cycle Rejetons		1	1	0	0	0		
Occurrence de la phase rejetons dans la rotation		4	4	0	0	0		
Introduction de plantes de service		0	0	0	0	0		
Durée Cycle en Plantes vitroplant		11,00	10,32	10,32	10,32	10,32		
Durée Cycle en Plantes rejet		0	0	0,00	0,00	10,32		
Durée du cycle en rejetons		10	6	0	0,00	0		
Durée totale de la rotation		5,25	3,86	5,58	5,58	5,58		
Régime pendant								
Indicateur	Production brute	Cout de production	Coût de revient	Grade des doigts	Longueurs des doigts	Hauteur des pseudotrons	IFT	Charge azotée
Unité	Tonnes/an/Ha	€/ha/an	€/Tonne	(mm)	(mm)	(m)	/ha/an	( kg/ha/an)
Prototype 1	64,17	15 904,88 €	247,87	33,00	205,00	2,80	36,82	436,51
Prototyppe 2	81,93	17 729,37 €	216,39	34,94	211,81	2,90	7,33	887,96
Prototype 3	35,32	11 455,20 €	324,34	36,88	223,63	2,90	3,66	368,56
Prototype 4	35,32	11 522,68 €	326,25	36,88	223,63	2,90	3,21	310,76
Prototype 5	35,32	10 057,70 €	284,77	36,88	223,63	2,90	3,21	310,76

**Annexe 11** : Feuille de calcul du modèle relative aux besoins nutritionnels des bananiers et à leurs caractéristiques agronomiques et morphologiques en fonction de la densité.

Caractéristiques agronomiques de la variété	Cavendish				925				Droite de régression linéaire	
	Prototype 1 référence		Prototype 2 référence		Prototype 3 innovant		Prototype 4 innovant		Prototype 5 innovant	Ordonnée à l'origine b
Prototype	Plantés	Rejets	Plantés	Rejets	Plantés	Rejets	Plantés	Rejets	Plantés	Pente a
Caractéristiques relatives au Cycle de Développement										
Intervalle Plantation-floraison (JPF) (jours)			214,60		218,57		216,59		222,54	0,003970699
Intervalle Floraison-coupe (JFC)(jours)			90,00		90,00		90,00		90,00	
Durée Totale du cycle (mois)	11,00	10,00	10,15	6,00	10,29	6,00	10,22	6,00	10,42	/
Caractéristiques relatives à la Production										
Nbr moyen de fruits / régime			156,14		156,01		156,08		155,87	-0,00013353
Grade moyen des fruits (mm)	33,00	33,00	39,40		37,39		38,39		35,37	-0,002013524
Longueur moyenne des fruits (mm)	200,00	210,00	236,40		226,18		231,29		215,96	-0,010217881
Poids moyen des fruits (g)	22,50	25,00	191,80		170,19		181,00		148,58	-0,021607814
Caractéristiques morphologiques du pseudotrunc										
Hauteur du bananier à la floraison (m)	2,80		2,59		2,84		2,71		21,42	-0,003290346
Circonférence du bananier à 1 m à la floraison (cm)	66,00		49,25		49,81		49,53		23,23	-0,003290346
Besoins nutritionnels (g/plant)										
Azote (g/plant)	133,01	172,57	198,93		198,93		198,93		198,93	0,000242912
Potasse (g/plant)	491,06	637,1	734,4		734,4		734,4		734,4	0,000559403
Azote (KG/ha)	199,515		298,395		497,325		397,86		696,255	
Potasse (kg/ha)	736,59		1101,6		1836		1468,8		2570,4	
Dose globale d'azote à fournir (kg/ha)*	300		448,6805503		448,6805503		448,68055		448,6805503	

Variété	Données variété		Données		Données variété	
	Grande Name	Marchal et	variété	Grande	variété	Grande
	Mallesard, 1979)	Guadeloupe			Florban 925	Guadeloupe
Circonférence du pseudotrunc du pied mère (cm)	74,00	66,00			47,00	
Hauteur du pseudotrunc du pied mère (cm)	287,00	280,00			278,00	
Volum du pseudotrunc du pied mère (m³)	125,06	97,06			48,87	
Masse volumique (Kg.cm³)	1,12	1,12			1,12	
Indicateur de Biomasse fraîche du pied mère (Kg)	140,56	109,08			54,92	
Circonférence du pseudotrunc du rejet (cm)	/	24,00			68,68	
Hauteur du pseudotrunc du rejet (cm)	/	145,00			283,00	
Volum pseudotrunc du rejet(m³)	11,53	6,65			106,23	
Indicateur de Biomasse fraîche du rejet (Kg)	12,96	7,47			119,39	
Indicateur Biomasse fraîche Totale de la touffe (Kg)	153,52	116,55			174,31	
Teneur totale en biomasse sèche du plant (%)	10,90	10,90			10,90	
Indicateur de Biomasse sèche totale de la touffe (kg)	16,73	12,70			19,00	
Quantité N immobilisée touffe (g)	175,20	133,01			198,93	
Quantité K immobilisée touffe (g)	646,80	491,06			734,40	
Production de Biomasse fraîche à l'hectare (Tonnes/Ha)	257,9136	174,83			261,47	
Biomasse sèche produite à l'hectare (Tonnes/Ha)	28,2	19,06			28,50	
Densité de plantation	1680,00	1500,00			1500,00	
Quantité N immobilisée à l'hectare (Kg/Ha)	294,34	199,52			298,39	
Quantité K immobilisée à l'hectare (Kg/Ha)	1086,62	736,59			1101,60	



## Annexe 12 : Feuille de synthèse des coûts de production pour un prototype de système de culture.

PHASES CULTURALES	Interculture	Plantes	Plantes	Rejetom	Prototype 1 SdC conventionnel, variété Grande naine: 1 phase interculture, 1 phase plantation vitroplant, 4 phases rejetom sur 1 hectare			
PRODUCTION/HA	Interculture	Plantes vitroplant	Plantes rejet	Rejetom				
Conduite	1	1	0	1				
Densité (Nombre de pieds/ha)	0,00	1500,00	0,00	1500,00				
Poids des fruits/ régime (Kg)	22,50	0,00	25,00	0,00				
Durée de la phase culturale (mois)	12,00	11,00	0,00	10,00				
Production tonnes/phase culturale/ha	0,00	33,75	0,00	37,50				
Occurrence des Phases culturales /rotation	1	1	0	4				
Production totale sur la durée de la rotation (Tonnes/ha/ 7 phases culturales)	0,00	33,75	0,00	150,00	Production totale sur la durée rotation (tonnes)	Production nette /ha/an		
					183,75	35,00		
COÛTS DE PRODUCTION REGIME PENDANT/HA	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	Coût Total €/Durée rotation	Coût/ha/an	Coût/Tonnes	Coût/ pour 18,5kg de fruits
Semences plantes de services	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Vitroplants		750,00 € <sup>3</sup>			3 750,00 €	714,29 €	20,41 €	0,38 €
Herbicides	69,73 €	163,88 €	- €	107,54 €	663,77 €	126,43 €	3,61 €	0,07 €
Engrais		127,40 € <sup>1</sup>	- €	127,40 € <sup>1</sup>	5 637,00 €	073,71 € <sup>1</sup>	30,68 €	0,57 €
Amendements		- €	- €	165,00 €	660,00 €	125,71 €	3,59 €	0,07 €
Nématocides		- €	- €	482,01 €	1 928,04 €	367,25 €	10,49 €	0,19 €
Ficelles		128,70 €	- €	171,60 €	815,10 €	155,26 €	4,44 €	0,08 €
Gaines et bandes de marquages		187,18 €	- €	187,18 €	935,90 €	178,27 €	5,09 €	0,09 €
Coût Total intrants/cycle/ha	69,73 €	337,16 € <sup>5</sup>	- €	240,73 € <sup>2</sup>				
Coût Total intrants / 7Cycles / Ha	69,73 €	337,16 € <sup>5</sup>	- €	962,92 € <sup>8</sup>	14 389,81 €	740,92 € <sup>2</sup>	78,31 €	1,45 €
MO Ramassage ficelles/gaines	59,74 €				59,74 €	11,38 €	0,33 €	0,01 €
MO inject. destruction. Ban.	129,43 €		- €	- €	129,43 €	24,65 €	0,70 €	0,01 €
MO semis des plantes de couvertures	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
MO separation rejet et rhizome				- €	- €	- €	- €	- €
MO plantation		758,64 €	- €		758,64 €	144,50 €	4,13 €	0,08 €
MO application herbicides	- €	836,30 €	- €	- €	836,30 €	159,30 €	4,55 €	0,08 €
MO application nématocides		- €	- €	31,36 €	125,45 €	23,89 €	0,68 €	0,01 €
MO application engrain		209,08 €	- €	209,08 €	1 045,38 €	199,12 €	5,69 €	0,11 €
MO application amendements		- €	- €	62,72 €	250,89 €	47,79 €	1,37 €	0,03 €
MO Effeuillage		971,28 € <sup>1</sup>	- €	792,07 € <sup>1</sup>	9 139,56 €	740,87 € <sup>1</sup>	49,74 €	0,92 €
MO oeillementage		003,56 € <sup>1</sup>	- €	254,45 € <sup>1</sup>	6 021,36 €	146,93 € <sup>1</sup>	32,77 €	0,61 €
MO Soins régimes		169,82 € <sup>1</sup>	- €	144,93 € <sup>1</sup>	5 749,56 €	095,15 € <sup>1</sup>	31,29 €	0,58 €
MO Sarclage détourage		- €	- €	- €				
Total Main d'Oeuvre/ha	189,16 €	948,68 € <sup>5</sup>	- €	494,61 € <sup>4</sup>				
Coût Total Main d'Oeuvre / 7Cycles / Ha	189,16 €	948,68 € <sup>5</sup>	- €	978,46 € <sup>17</sup>	24 116,30 €	593,58 € <sup>4</sup>	131,25 €	2,43 €
Prestation Enfouissement bananeraie	360,00 €				360,00 €	68,57 €	1,96 €	0,04 €
Prestation travail et homogénéisation du sol	720,00 €				720,00 €	137,14 €	3,92 €	0,07 €
Prestation mise en place de l'interculture	- €	- €			0	- €	- €	- €
Prestation gestion de l'interculture	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Prestation destruction mécanique interculture	- €				- €	- €	- €	- €
Prestation destruction chimique interculture rampe	- €				- €	- €	- €	- €
Prestation plantation mécanique rejets ou vitroplants		- €	- €		- €	- €	- €	- €
Prestation destruction mécanique couvert banane		- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Prestation traitements insecticide	230,00 €	210,83 €	- €	191,67 €	1 207,50 €	230,00 €	6,57 €	0,12 €
Prestation service cerco		711,56 €	- €	718,75 €	3 586,56 €	683,15 €	19,32 €	0,36 €
Total prestation/ha	310,00 € <sup>1</sup>	922,40 €	- €	910,42 € <sup>3</sup>				
Coût Total Prestation / 7Cycles / Ha	310,00 € <sup>1</sup>	922,40 €	- €	641,67 € <sup>3</sup>	5 874,06 €	118,87 € <sup>1</sup>	31,97 €	0,59 €
COÛT TOTAL REGIME PENDANT	568,89 € <sup>1</sup>	228,23 € <sup>12</sup>	- €	583,05 € <sup>30</sup>	44 380,17 €	453,37 € <sup>8</sup>	241,52 €	4,47 €



Annexe 13: Feuille de calcul de l'IFT des prototypes de système de culture par rotation puis par ha.

Prototype 1			Phase culturale	INTERCULTURE			PLANTES VITROPLANT			PLANTES REJET			REJETONS			IFT rotation	IFTAN
			Occurrence phase dans la rotation	1,00			1,00			0,00			4,00				
Pratique par phase	Poste	Produit	Surface (Ha)	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase		
Destruction bananeraie	Herbicide	Touchdown	1,00	4,50	6,00	0,75	/	/		0,00	6,00	0,00	0,00	6,00	0,00		
Destruction couvert plantes de service	Herbicide	Touchdown	1,00	5,00	6,00	0,83	/	/		0,00	/		/	/	/		
Destruction adventice	Herbicide	Touchdown	1,00	/	/		6,00	2,00	3,00	0,00	2,00	0,00	6,00	2,00	3,00		
	Herbicide	Basta	1,00	/	/		3,00	5,00	0,60	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00		
Gestion nématode	Herbicide	Fumilade	1,00	/	/		2,00	2,00	1,00	0,00	2,00	0,00	2,00	2,00	1,00		
	nématicide	nématorin	1,00	/	/		0,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00	30,00	40,00	0,75		
Gestion cercosporioses	Fongicide	SICO	1,00	/	/		4,40	0,40	11,00	0,00	0,40	0,00	4,00	0,40	10,00		
	Fongicide	TILT	1,00	/	/		4,40	0,40	11,00	0,00	0,40	0,00	4,00	0,40	10,00		
	Fongicide	GARDIAN	1,00	/	/		5,50	0,50	11,00	0,00	0,50	0,00	5,00	0,50	10,00		
IFT /phase						1,58			37,60			0,00			34,75		
IFT /phase						1,58			37,60			0,00			139,00	178,18	33,94
Prototype 2			Phase culturale	Interculture			PLANTES VITROPLANT			PLANTES REJET			REJETONS			IFT rotation	IFTAN
			Occurrence phase dans la rotation	1,00			1,00			0,00			4,00				
Pratique par phase	Poste	Produit	Surface (Ha)	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase		
Destruction bananeraie	Herbicide	Touchdown	1,00	4,50	6,00	0,75	/	/		0,00	6,00		0,00	6,00			
Destruction couvert pds	Herbicide	Touchdown	1,00	5,00	6,00	0,83	/	/		/	/		/	/			
Destruction adventice	Herbicide	Touchdown	1,00	/	/		6,00	2,00	3,00	0,00	2,00	0,00	6,00	2,00	3,00		
	Herbicide	Basta	1,00	/	/		3,00	5,00	0,60	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00		
Gestion nématode	Herbicide	Fumilade	1,00	/	/		2,00	2,00	1,00	0,00	2,00	0,00	2,00	2,00	1,00		
	nématicide	nématorin	1,00	/	/		0,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00	30,00	40,00	0,75		
Gestion cercosporioses	Fongicide	SICO	1,00	/	/		/	0,40	0,00	/	0,40		/	0,40	0,00		
	Fongicide	TILT	1,00	/	/		/	0,40	0,00	/	0,40		/	0,40	0,00		
	Fongicide	GARDIAN	1,00	/	/		/	0,50	0,00	/	0,50		/	0,50	0,00		
IFT /phase						1,58			4,60			0,00			4,75		
IFT /phase						1,58			4,60			0,00			19,00	25,18	6,55
Prototype 3			Phase culturale	Interculture			PLANTES VITROPLANT			PLANTES REJET			REJETONS			IFT rotation	IFTAN
			Occurrence phase dans la rotation	3,00			1,00			2,00			0,00				
Pratique par phase	Poste	Produit	Surface (Ha)	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase		
Destruction bananeraie	Herbicide	Touchdown	1,00	7,50	6,00	1,25	/	/		7,50	6,00	1,25	0,00	6,00	0,00		
Destruction couvert pds	Herbicide	Touchdown	1,00	5,00	6,00	0,83	/	/		/	/		/	/			
Destruction adventice	Herbicide	Touchdown	1,00	/	/		0,00	2,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	2,00	0,00		
	Herbicide	Basta	1,00	/	/		0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	5,00	0,00		
Gestion nématode	Herbicide	Fumilade	1,00	/	/		2,00	2,00	1,00	0,00	2,00	0,00	0,00	2,00	0,00		
	nématicide	nématorin	1,00	/	/		0,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00	0,00	40,00	0,00		
Gestion cercosporioses	Fongicide	SICO	1,00	/	/		/	0,40	0,00	/	0,40	0,00	/	0,40	0,00		
	Fongicide	TILT	1,00	/	/		/	0,40	0,00	/	0,40	0,00	/	0,40	0,00		
	Fongicide	GARDIAN	1,00	/	/		/	0,50	0,00	/	0,50	0,00	/	0,50	0,00		
IFT /phase						2,08			1,00			1,25			0,00		
IFT /phase						6,25			1,00			2,50			0,00	9,75	1,75
Prototype 4			Phase culturale	Interculture			PLANTES VITROPLANT			PLANTES REJET			REJETONS			IFT rotation	IFTAN
			Occurrence phase dans la rotation	1,00			1,00			4,00			0,00				
Pratique par phase	Poste	Produit	Surface (Ha)	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase	Dose totale/ha	Dose homologuée	IFT par phase		
Destruction bananeraie	Herbicide	Touchdown	1,00	10,50	6,00	1,50	/	/		10,50	6,00	1,50	0,00	6,00	0,00		
Destruction couvert pds	Herbicide	Touchdown	1,00	5,00	6,00	0,83	/	/		/	/		/	/			
Destruction adventice	Herbicide	Touchdown	1,00	/	/		6,00	2,00	3,00	6,00	2,00	3,00	0,00	2,00	0,00		
	Herbicide	Basta	1,00	/	/		3,00	5,00	0,60	3,00	5,00	0,60	0,00	5,00	0,00		
Gestion nématode	Herbicide	Fumilade	1,00	/	/		2,00	2,00	1,00	2,00	2,00	1,00	0,00	2,00	0,00		
	nématicide	nématorin	1,00	/	/		0,00	40,00	0,00	72,00	40,00	1,80	0,00	40,00	0,00		
Gestion cercosporioses	Fongicide	SICO	1,00	/	/		/	0,40	0,00	/	0,40	0,00	/	0,40	0,00		
	Fongicide	TILT	1,00	/	/		/	0,40	0,00	/	0,40	0,00	/	0,40	0,00		
	Fongicide	GARDIAN	1,00	/	/		/	0,50	0,00	/	0,50	0,00	/	0,50	0,00		
IFT /phase						2,63			4,60			8,20			0,00		
IFT /phase						2,63			4,60			32,80			0,00	40,03	7,49

**Annexe 14** : Calcul des indicateurs de charge azoté des différents prototypes évalué.

Prototype 1 902	Phase culturale		INTERCULTURE	PLANTES VITROPLANT	PLANTES REJET	REJETONS	Quantité N/ rotation (kg)	Quantité N(kg)/ ha/an
	Occurrence phase dans la rotation		1,00	1,00	0,00	4,00		
	Durée du cycle		12,00	11,00	11,00	10,00		
	Azote (g/plant)		0,00	133,01	0,00	133,01	2291,67	436,51
	potasse (g/plant)		0,00	491,06	0,00	491,06		
	Azote (KG/ha)		0,00	365,78	0,00	365,78		
	Potasse (kg/ha)		0,00	1350,42	0,00	1350,42		
	Dose globale d'azote à fournir (kg/ha) avant PdS		0,00	458,33	0,00	458,33		
	Apport plante de service		0,00	0,00	0,00	0,00		
	Dose globale d'azote à fournir (kg/ha) Après PdS		0,00	458,33	0,00	458,33		
	Quantité de fertilisants dans 25 (kg)		0,00	3,75	0,00	3,75		
	Quantité sacs		0,00	122,22	0,00	122,22		
	Quantité de fertilisants /cycle /ha		0,00	3055,56	0,00	3055,56		
	Quantité de fertilisants par plants en 10 fois		0,00	0,11	0,00	0,11		
	Phase culturale		INTERCULTURE	PLANTES VITROPLANT	PLANTES REJET	REJETONS	Quantité N/ rotation (kg)	Quantité N(kg)/ ha/an
Prototype 2 925	Occurrence phase dans la rotation		1,00	1,00	0,00	4,00		
	Durée du cycle		12,00	10,32	10,32	6,00		
	Azote (g/plant)		0,00	198,93	0,00	198,93	3427,42	887,96
	potasse (g/plant)		0,00	734,40	0,00	734,40		
	Azote (KG/ha)		0,00	547,06	0,00	547,06		
	Potasse (kg/ha)		0,00	2019,60	0,00	2019,60		
	Dose globale d'azote à fournir (kg/ha) avant PdS		0,00	685,48	0,00	685,48		
	Apport plante de service		0,00	0,00	0,00	0,00		
	Dose globale d'azote à fournir (kg/ha) Après PdS		0,00	685,48	0,00	685,48		
	Quantité de fertilisants dans 25 (kg)		0,00	3,75	0,00	3,75		
	Quantité sacs		0,00	182,80	0,00	182,80		
	Quantité de fertilisants /cycle /ha		0,00	4569,89	0,00	4569,89		
	Quantité de fertilisants par		0,00	0,17	0,00	0,17		

	plants en 10 fois						
Prototype 3 925	<b>Phase culturale</b>	<b>INTERCULTURE</b>	<b>PLANTES VITROPLANT</b>	<b>PLANTES REJET</b>	<b>REJETONS</b>	Quantité N/ rotation (kg)	Quantité N(kg)/ ha/an
	<b>Occurrence phase dans la rotation</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		
	<b>Durée du cycle</b>	<b>12,00</b>	<b>10,32</b>	<b>10,32</b>	<b>6,00</b>		
	Azote (g/plant)	0,00	198,93	0,00	198,93	2056,45	368,56
	potasse (g/plant)	0,00	734,40	0,00	734,40		
	Azote (KG/ha)	0,00	547,06	0,00	547,06		
	Potasse (kg/ha)	0,00	2019,60	0,00	2019,60		
	Dose globale d'azote à fournir (kg/ha) avant PdS	0,00	685,48	0,00	685,48		
	Apport plante de service	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Dose globale d'azote à fournir (kg/ha) Après PdS	0,00	685,48	0,00	685,48		
	Quantité de fertilisants dans 25 (kg)	0,00	3,75	0,00	3,75		
	Quantité sacs	0,00	182,80	0,00	182,80		
	Quantité de fertilisants /cycle /ha	0,00	4569,89	0,00	4569,89		
	Quantité de fertilisants par plants en 10 fois	0,00	0,17	0,00	0,17		
Prototype 4 925	<b>Phase culturale</b>	<b>INTERCULTURE</b>	<b>PLANTES VITROPLANT</b>	<b>PLANTES REJET</b>	<b>REJETONS</b>	Quantité N/ rotation (kg)	Quantité N(kg)/ ha/an
	<b>Occurrence phase dans la rotation</b>	<b>3,00</b>	<b>3,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>		
	<b>Durée du cycle</b>	<b>12,00</b>	<b>10,32</b>	<b>10,32</b>	<b>6,00</b>		
	Azote (g/plant)	0,00	198,93	0,00	198,93	1733,95	310,76
	potasse (g/plant)	0,00	734,40	0,00	734,40		
	Azote (KG/ha)	0,00	547,06	0,00	547,06		
	Potasse (kg/ha)	0,00	2019,60	0,00	2019,60		
	Dose globale d'azote à fournir (kg/ha) avant PdS	0,00	685,48	0,00	685,48		
	Apport plante de service	0,00	107,50	0,00	0,00		
	Dose globale d'azote à fournir (kg/ha) Après PdS	0,00	577,98	0,00	685,48		
	Quantité de fertilisants dans 25 (kg)	0,00	3,75	0,00	3,75		
	Quantité sacs	0,00	154,13	0,00	182,80		
	Quantité de fertilisants /cycle /ha	0,00	3853,23	0,00	4569,89		
	Quantité de fertilisants par plants en 10 fois	0,00	0,14	0,00	0,17		

Prototype 5 925	Phase culturale		INTERCULTURE	PLANTES VITROPLANT	PLANTES REJET	REJETONS	Quantité N/ rotation (kg)	Quantité N(kg)/ ha/an
	Occurrence phase dans la rotation		3,00	1,00	2,00	0,00		
	Durée du cycle		12,00	10,32	10,32	10,32		
	Azote (g/plant)		0,00	198,93	198,93	198,93	1733,95	310,76
	potasse (g/plant)		0,00	734,40	734,40	734,40		
	Azote (KG/ha)		0,00	547,06	547,06	547,06		
	Potasse (kg/ha)		0,00	2019,60	2019,60	2019,60		
	Dose globale d'azote à fournir (kg/ha) avant PdS		0,00	685,48	685,48	685,48		
	Apport plante de service		0,00	107,50	107,50	0,00		
	Dose globale d'azote à fournir (kg/ha) Après PdS		0,00	577,98	577,98	685,48		
	Quantité de fertilisants dans 25 (kg)		0,00	3,75	3,75	3,75		
	Quantité sacs		0,00	154,13	154,13	182,80		
	Quantité de fertilisants /cycle /ha		0,00	3853,23	3853,23	4569,89		
	Quantité de fertilisants par plants en 10 fois		0,00	0,14	0,14	0,17		

**Annexe 15 : Itinéraire technique du Système de culture conventionnel basé sur la culture de la variété Grande naine 902 (prototype 1).**

**PROTOTYPE 1**

ASSOLEMENT					1 Interculture - 1 Plantes - 4 Rejets	
Phase	Action	Intervention	Fréquence de l'intervention	Machine/ main d'oeuvre	Produit	Dose appliquée
INTERCULTURE	Nettoyage	Ramassage gaines ficelles	1	Main d'oeuvre		/
	Destruction bananiers	Piquage herbicide	1,5		Touchdown injection main d'oeuvre	0,002 L/plant
	Enfouissement bananiers	Pulvérisation rhizomes	2	Romploz prestation		180 €/passage/ha
	Travail du sol et préparation lit de semence	Sous solage Croisé	3	Sous soleuse prestation		180 €/passage/ha
		Homogénéisation sol / Préparation lit de semence	1	Romploz prestation		180 €/passage/ha
	Mise en place de la plante de couverture gestion et destruction	Semis et plantation	1	Achat semences plantes de couverture		0 Kg/ha
			1	Acha de semence plante de couverture		0 Kg/ha
			1	Semi manuel		265 Ha
			1	Semoir mécanique prestation		225 €/passage/ha
			1	Plantation plante		3345,2
		Entretien mécanique	0	Girobroyage prestation		150 €/passage/ha
		Destruction Chimique pour les plantes vivaces perennes	1		Touchdown rampe	5 L/ha
	Gestion des ravageurs	pieges characons	1	pose de piège et suivit		230 €/ha/an
PLANTES VITROPLANT	Plantation à partir de vitroplants	Mise en place plantation manuellement	1	Achat vitroplants		1 Plants
			1	Trouaison vitroplants		/
			1	Trouaison vitroplants sur mulch		/
			1	Semis vitroplants		/
			1	Plantation vitroplants		/
	Gestion phytosanitaire	pieges characons	1	Gestion charançons prestation		230 €/ha/an
		Nematicide	1		Gestion nématodes Nématorin	0,02 Kg/plant
		Fongicide	1	Gestion cercosporioses prestation		23 €/T/an
		Gestion et Destruction chimique adventice	3		Herbicide Touchdown	2 L/ha
			1		Herbicide Basta	3 L/ha
			1		Herbicide Fussillade	2 L/ha

	Fertilisation	Amendement	1		Dolomie (kg)	1 Kg/plant
		Engrais	10		NPK(kg)	0,11 Kg/plant
	Entretien culture	Façons culturales	44	Effeuillage		/
			4,00	Oeilleutonnage		/
		Soins aux régimes	1	Dégagements		/
			1	Engainage marquage Ablation /mousse		/
			1	Haubanage		/
			1	Epistillage		/
REJETONS	Gestion phytosanitaire	pieges characons	1	Gestion charançons prestation		230 €/ha/an
		Nématicide	1		Gestion nématodes Nématorin	0,02 Kg/plant
		Fongicide	1	Gestion cercosporioses prestation		23 €/T/an
		Gestion et Destruction chimique couvert bananeraie	3		Herbicide Touchdown	2 L/ha
			0		Herbicide Basta	3 L/ha
			1		Herbicide Fussillade	2 L/ha
	Fertilisation	Amendement	1		Dolomie	0,5 Kg/plant
		Engrais	10		NPK	0,11 Kg/plant
	Entretien culture	Façon culturales	40	Effeuillage		/
			5	Oeilleutonnage		/
		Soins aux régimes	1	Dégagements		/
			1	Engainage marquage Ablation /mousse		/
			1	Haubanage		/
			1	Epistillage		/

**Annexe 16** :\_Itinéraire technique du système de culture conventionnel basé sur la culture de la variété FlohrBan 925 (prototype 2).

**PROTOTYPE 2**

ASSOLEMENT					1 Interculture - 1 Plantes - 4 Rejets	
Phase	Action	Intervention	Fréquence de l'intervention	Machine/ main d'oeuvre	Produit	Dose appliquée
INTERCULTURE	Nettoyage	Ramassage gaines ficelles	1	Main d'oeuvre		/
	Destruction bananiers	Piquage herbicide	1,5	Touchdown injection main d'oeuvre	Touchdown injection main d'oeuvre	0,002 L/plant
	Enfouissement bananiers	Pulvérisation rhizomes	2	Romploow prestation		180 €/passage/ha
	Travail du sol et préparation lit de semence	Sous solage Croisé	3	Sous soleuse prestation		180 €/passage/ha
		Homogénéisation sol / Préparation lit de semence	1	Romploow prestation		180 €/passage/ha
	Mise en place de la plante de couverture gestion et destruction	Semis et plantation	1	Achat semences plantes de couverture		0 Kg/ha
			1	Achat de semence plante de couverture		0 Kg/ha
			1	Semi manuel		265 Ha
			1	Semoir mécanique prestation		225 €/passage/ha
			1	Plantation plante		3345,2
		Entretien mécanique	0	Girobroyage prestation		150 €/passage/ha
		Destruction Chimique pour les plantes vivaces perennes	1		Touchdown rampe	5 L/ha
	Gestion des ravageurs	pieges characons	1	pose de piège et suivit		230 €/passage/ha
PLANTES VITROPLANT	Plantation à partir de vitroplants	Mise en place plantation manuellement	1	Achat vitroplants		1 Plants
			1	Trouaison vitroplants		/
			1	Trouaison vitroplants sur mulch		/
			1	Semis vitroplants		/
			1	Plantation vitroplants		/
	Gestion phytosanitaire	pieges characons	1	Gestion charançons prestation		230 €/ha/an
		Nematicide	1	Gestion nématodes Nématorin		0,02 Kg/plant
		Fongicide	1	Gestion cercosporioses prestation		23 €/T/an
		Gestion et Destruction chimique adventice	3		Herbicide Touchdown	2 L/ha
			1		Herbicide Basta	3 L/ha
			1		Herbicide Fussillade	2 L/ha
	Fertilisation	Amendement	1		Dolomie (kg)	1 Kg/plant
		Engrais	10		NPK(kg)	0,17 Kg/plant
	Entretien culture	Façons culturales	5	Effeuilage		/
			4	Oeilleutonnage		/

		Soins aux régimes	1	Dégagements		/
			1	Engainage marquage Ablation /mousse		/
			1	Haubanage		/
			1	Epistillage		/
REJETONS	Gestion phytosannitaire	pieges characons	1	Gestion charançons prestation		230 €/ha/an
		Nématicide	1		Gestion nématodes Nématorin	0,02 Kg/plant
		Fongicide	1	Gestion cercosporioses prestation		23 €/T/an
		Gestion et Destruction chimique couvert bananeraie	3		Herbicide Touchdown	2 L/ha
			0		Herbicide Basta	3 L/ha
			1		Herbicide Fussillade	2 L/ha
	Fertilisation	Amendement	1		Dolomie	0,5 Kg/plant
		Engrais	10		NPK	0,17 Kg/plant
	Entretien culture	Façon culturales	5	Effeuillage		/
			5	Oeilleutonnage		/
		Soins aux régimes	1	Dégagements		/
			1	Engainage marquage Ablation /mousse		/
			1	Haubanage		/
			1	Epistillage		



**Annexe 17 :** Itinéraire technique du système de culture innovant basé sur la culture de la variété FlohrBan 925 et conduit sur un seul cycle de culture (prototype 3).

**PROTOTYPE 3**

ASSOLEMENT					1 Interculture - 1 Plantes - 4 Rejets	
Phase	Action	Intervention	Fréquence de l'intervention	Machine/ main d'oeuvre	Produit	Dose appliquée
INTERCULTURE	Nettoyage	Ramassage gaines ficelles	1	Main d'œuvre		
	Destruction bananiers	Piquage herbicide	1,5	Touchdown injection main d'œuvre	Touchdown injection main d'œuvre	0,002 L/plant
	Enfouissement bananiers	Pulvérisation rhizomes	2	Romploz prestation		180 €/passage/ha
	Travail du sol et préparation lit de semence	Sous solage Croisé	3	Sous soleuse prestation		180 €/passage/ha
		Homogénéisation sol / Préparation lit de semence	1	Romploz prestation		180 €/passage/ha
	Mise en place de la plante de couverture gestion et destruction	Semis et plantation	1	Achat semences plantes de couverture		0 Kg/ha
			1	Achat de semence plante de couverture		0 Kg/ha
			1	Semi manuel		265 Ha
			1	Semoir mécanique prestation		225 €/passage/ha
			1	Plantation plante		3345,2
		Entretien mécanique	0	Girobroyage prestation		150 €/passage/ha
		Destruction Chimique pour les plantes vivaces pérennes	1,00		Touchdown rampe	5 L/ha
	Gestion des ravageurs	pièges charaçons	1	pose de piège et suivit		230 €/ha/an
PLANTES VITROPLANT	Plantation à partir de vitroplants	Mise en place plantation manuellement	1	Achat vitroplants		1 Plants
			1	Trouaison vitroplants		/
			1	Trouaison vitroplants sur mulch		/
			1	Semis vitroplants		/
			1	Plantation vitroplants		/
	Gestion phytosanitaire	pièges charaçons	1	Gestion charaçons prestation		230 €/ha/an
		Nématicide	1		Gestion nématodes Nématorin	0,02 Kg/plant
		Fongicide	1	Gestion cercosporioses prestation		23 €/T/an
		Gestion et Destruction chimique adventice	3		Herbicide Touchdown	2 L/ha
			1		Herbicide Basta	3 L/ha
			1		Herbicide Fussillade	2 L/ha
	Fertilisation	Amendement	1		Dolomie (kg)	1 Kg/plant
		Engrais	10		NPK(kg)	0,17 Kg/plant
	Entretien culture	Façons culturales	5	Effeillage		/
			4	Oeilleutonnage		/
		Soins aux régimes	1	Dégagements		/
			1	Engainage marquage Ablation /mousse		/
			1	Haubanage		/
			1	Epistillage		/

**Annexe 18 :** Système de culture innovant basé sur la culture de la variété FlohrBan 925 et l'introduction de plante de service comme culture intercalaire (prototype 4).

**PROTOTYPE 4**

ASSOLEMENT					1 Interculture - 1 Plantes - 4 Rejets	
Phase	Action	Intervention	Fréquence de l'intervention	Machine/ main d'oeuvre	Produit	Dose appliquée
INTERCULTURE	Nettoyage	Ramassage gaines ficelles	1	Main d'œuvre		
	Destruction bananiers	Piquage herbicide	1,5	Touchdown injection main d'œuvre	Touchdown injection main d'œuvre	0,002 L/plant
	Enfouissement bananiers	Pulvérisation rhizomes	2	Romplow prestation		180 €/passage/ha
	Travail du sol et préparation lit de semence	Sous solage Croisé	2	Sous soleuse prestation		180 €/passage/ha
		Homogénéisation sol / Préparation lit de semence	1	Romplow prestation		180 €/passage/ha
	Mise en place de la plante de couverture gestion et destruction	Semis et plantation	1	Achat semences plantes de couverture		7 Kg/ha
			1	Acha de semence plante de couverture		5 Kg/ha
			1	Semi manuel		265 Ha
			1	Semoir mécanique prestation		225 €/passage/ha
			1	Plantation plante		1500
		Entretien mécanique	3	Girobroyage prestation		150 €/passage/ha
		Destruction Chimique pour les plantes vivaces perennes	2		Touchdown rampe	6 L/ha
	Gestion des ravageurs	pieges characons	1	pose de piège et suivit		230 €/ha/an
PLANTES VITROPLANT	Plantation à partir de vitroplants	Mise en place plantation manuellement	1	Achat vitroplants		1 Plants
			1	Trouaison vitroplants		/
			1	Trouaison vitroplants sur mulch		/
			1	Semis vitroplants		/
			1	Plantation vitroplants		/
	Gestion phytosanitaire	pieges characons	1	Gestion charançons prestation		230 €/ha/an
		Nematicide	1		Gestion nématodes Nématorin	0,02 Kg/plant
		Fongicide	1	Gestion cercosporioses prestation		23 €/T/an
		Gestion et Destruction chimique adventice	1		Herbicide Touchdown	2 L/ha
			1		Herbicide Basta	3 L/ha
			1		Herbicide Fussillade	2 L/ha
	Fertilisation	Amendement	1		Dolomie (kg)	1 Kg/plant
		Engrais	10		NPK(kg)	0,13 Kg/plant
	Entretien culture	Façons culturales	5	Effeillage		/
			4	Oeilleutonnage		/
		Soins aux régimes	1	Dégagements		/
			1	Engainage marquage Ablation /mousse		/
			1	Haubanage		/
			1	Epistillage		/

**Annexe 19 :** Système de culture innovant basé sur la replantation de la bananeraie sur un mulch, à partir de rejets (prototype 5).

**PROTOTYPE 5**

ASSOLEMENT					1 Interculture - 1 Plantes - 4 Rejets	
Phase	Action	Intervention	Fréquence de l'intervention	Machine/ main d'oeuvre	Produit	Dose appliquée
INTERCULTURE	Nettoyage	Ramassage gaines ficelles	1	Main d'œuvre		
	Destruction bananiers	Piquage herbicide	1,5	Touchdown injection main d'œuvre	Touchdown injection main d'œuvre	0,002 L/plant
	Enfouissement bananiers	Pulvérisation rhizomes	2	Romplow prestation		180 €/passage/ha
	Travail du sol et préparation lit de semence	Sous solage Croisé	2	Sous soleuse prestation		180 €/passage/ha
		Homogénéisation sol / Préparation lit de semence	1	Romplow prestation		180 €/passage/ha
	Mise en place de la plante de couverture gestion et destruction	Semis et plantation	1	Achat semences plantes de couverture		7 Kg/ha
			1	Achat de semence plante de couverture		5 Kg/ha
			1	Semi manuel		265 Ha
			1	Semoir mécanique prestation		225 €/passage/ha
			1	Plantation plante		1500
		Entretien mécanique	3	Girobroyage prestation		150 €/passage/ha
		Destruction Chimique pour les plantes vivaces perennes	2		Touchdown rampe	6 L/ha
	Gestion des ravageurs	pièges charaçons	1	pose de piège et suivi		230 €/ha/an
PLANTES VITROPLANT	Plantation à partir de vitroplants	Mise en place plantation manuellement	1	Achat vitroplants		1 Plants
			1	Trouaison vitroplants		/
			1	Trouaison vitroplants sur mulch		/
			1	Semis vitroplants		/
			1	Plantation vitroplants		/
	Gestion phytosanitaire	pièges charaçons	1	Gestion charaçons prestation		230 €/ha/an
		Nematicide	1		Gestion nématodes Nématorin	0,02 Kg/plant
		Fongicide	1	Gestion cercosporioses prestation		23 €/T/an
		Gestion et Destruction chimique adventice	1		Herbicide Touchdown	2 L/ha
			1		Herbicide Basta	3 L/ha
			1		Herbicide Fussillade	2 L/ha
	Fertilisation	Amendement	1		Dolomie (kg)	1 Kg/plant
		Engrais	10		NPK(kg)	0,13 Kg/plant
	Entretien culture	Façons culturales	5	Effeuilage		/
			4	Oeilleutonnage		/
		Soins aux régimes	1	Dégagements		/

			1	Engainage marquage Ablation /mousse		/
			1	Haubanage		/
			1	Epistillage		/
PLANTES REJET		Préparation plantation	1	Arrachage rejets		/
			1	Transport rejet		/
			1	Parage rejets		/
		Mise en place plantation manuellement	1	Trouaison rejets		/
			1	Trouaison rejet sur mulch		/
			1	Semis rejets		/
			1	Plantation rejets		/
	Gestion phytosanitaire	pieges characons	1	Gestion charançons prestation		230 €/ha/an
		Nematicide	1		Gestion nématodes Nématorin	0,02 Kg/plant
		Fongicide	1	Gestion cercosporioses prestation		23 €/T/an
		Gestion et Destruction chimique couvert bananeraie	1		Herbicide Touchdown	2 L/ha
			1		Herbicide Basta	3 L/ha
			1		Herbicide Fussillade	2 L/ha
	Fertilisation	Amendement	1		Dolomie (kg)	1 Kg/plant
		Engrais	10		NPK(kg)	0,13 Kg/plant
	Entretien culture	Façons culturales	5	Effeuilage		/
			4	Oeilleutonnage		/
		Soins aux régimes	1	Dégagements		/
			1	Engainage marquage Ablation /mousse		/
			1	Haubanage		/
			1	Epistillage		/

## Résumé

En Guadeloupe, la banane représente la principale source de revenus agricoles et d'emplois du département. Cependant, ce secteur subit à la fois les aléas économiques du marché international et une forte pression de la part de bioagresseurs, notamment avec l'arrivée récente de la cercosporiose noire sur l'île. En plus de représenter un coût financier important, les méthodes de lutte par traitement pesticide aérien sont actuellement remises en cause vis-à-vis de l'impact écologique qu'elles représentent. La recherche de solutions alternatives semble nécessaire afin de maintenir durablement les systèmes de production banane. Pour cela, le CIRAD vient de mettre au point une nouvelle variété, la « la FlhorBan 925 », présentant un certain nombre de résistances aux cercosporioses. Cependant, conduite de manière conventionnelle, cette dernière présente des désavantages obligeant à adapter le système de production. Cette étude se propose ainsi d'évaluer, sur la base d'un d'indicateur calculé à l'aide d'un modèle d'évaluation multicritère, quatre prototypes de systèmes de cultures innovants basés sur la variété 925 et l'intégration de plantes de service adaptées à ces agrosystèmes.

**Mots clefs :** Guadeloupe ; banane Flhorban 925 ; cercosporioses ; système de culture innovant ; Modèle d'évaluation multicritère ; performances économique et environnementales

## Abstract

In Guadeloupe, the banana is the main source of agricultural income and employment in the department. However, this sector is both the economic hazards of international markets and pressure from bioagresseurs, especially with the recent arrival of black Sigatoka on the island. In addition to representing a significant financial cost, aerial pesticide treatments control methods are questionings in front of the environmental impact they represent. The search for alternatives solutions seems necessary to maintain sustainable banana production systems. To do this, CIRAD has developed a new variety, "the FlhorBan 925" with a number of resistance to Sigatoka. However, driving in a conventional manner, this variety has disadvantages forcing them to adapt the production system. This study proposes to assess with calculated indicators get with a multi-criteria evaluation model, four prototypes of innovative cropping systems based on the 925 variety.

**Keywords :** Guadeloupe ; banana Flhorban 925 ; Sigatoka, ; system innovation culture ; model multicriteria evaluation;